

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-132709

(43)Date of publication of application : 12.05.2000

(51)Int.Cl.

G06T 15/70  
A63F 13/00

(21)Application number : 10-321272

(71)Applicant : NAMCO LTD

(22)Date of filing : 26.10.1998

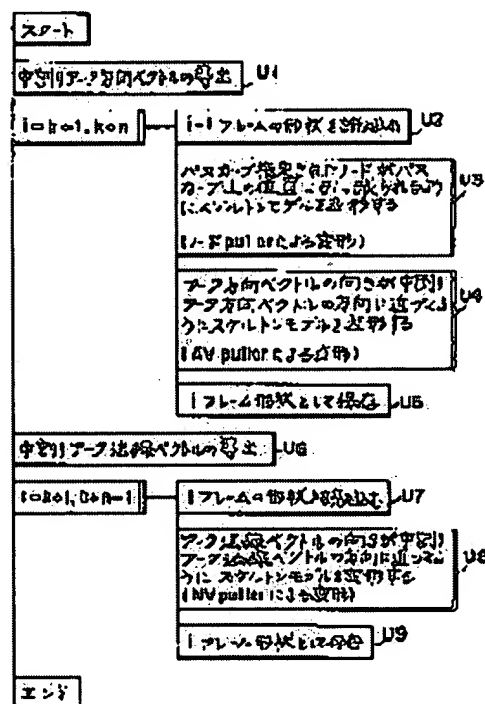
(72)Inventor : YAMAGUCHI KENTARO

(54) INTERMEDIATE FRAME SHAPE LEADING-OUT METHOD OF SKELETON MODEL, SKELETON MODEL SHAPE DEFORMING METHOD, IMAGE FORMING DEVICE AND INFORMATION STORING MEDIUM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make a smoothly interpolated intermediate frame shape by deforming each of the node of a skeleton model designating a moving path, the direction of the arc direction vector of the skeleton model and the direction of the arc normal vector of the skeleton model to the shape of the skeleton model.

SOLUTION: After leading out an inner breakage arc direction vector (U1), the shape of a frame is read (U2) and the shape of the skeleton model is deformed (U3) so that the node of the skeleton model may be pulled to a given position on a moving path. Then, the shape of the skeleton model is deformed (U4) so that the direction of the arc direction vector of the skeleton model may approach the direction of the inner breakage arc direction vector. In addition, after leading out an inner breakage arc normal vector (U6), the shape of the skeleton model is deformed (U8) so that the direction of the arc normal vector of the skeleton model may approach the direction of the inner breakage arc normal vector.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the intermediate-frame configuration derivation approach of a skeleton model, the configuration deformation approach of a skeleton model, image generation equipment, and an information storage medium.

[0002]

[Background Art and Problem(s) to be Solved by the Invention] In fields, such as computer graphics, in case the motion (animation) of the character of people, an animal, etc. is created, many following procedures are used.

[0003] (D1) The skeleton model 10 as shown in drawing 1 (A) is prepared first. In addition, below, the bone 16 which connects a call and nodes for the separation node 12 and endpoint 14 of the skeleton model 10 to a node will be called an arc.

[0004] (D2) Next, as shown in drawing 1 (B), the skeleton model 10 is transformed and the configurations 20 and 22 of the key frame of a skeleton model are created.

[0005] (D3) Next, as shown in drawing 1 (C), the configurations 20 and 22 of a key frame are interpolated and the configuration 24 of the intermediate frame of a skeleton model is created.

[0006] Now, in general work habits, a user (a wide sense operator) creates the configurations 20 and 22 of the key frame of the above-mentioned process (D2) manually using input units, such as a mouse and a keyboard. On the other hand, a program generates automatically the configuration 24 of the intermediate frame of a process (D3).

[0007] Moreover, a user usually performs immobilization of a node, or assignment of a pass curve (a wide sense moving trucking) to some nodes before a process (D3).

[0008] Node immobilization is directing maintaining the node at the same location here in all the intermediate frames between two key frames which should be interpolated. Such node immobilization is needed for a \*\*\*\*\* case etc. in an arm, fixing the shoulder of a character.

[0009] Moreover, assignment of a pass curve is directing that the node moves on the specified pass curve between key frames. Assignment of this pass curve is equivalent to specifying the location of that node (node as which the pass curve was specified) in each intermediate frame not only between assignment of the mere path itself but key frames. Assignment of such a pass curve is needed to move the hand of a character, and the point of a guide peg on the orbit for which a user asks.

[0010] The skeleton model 26 is constituted from four nodes N1, N2, N3, and N4 and three arcs A12, A23, and A34 by the example shown in drawing 2 (A). Since the sense of a twist of each arc is expressed, the arc process line vectors NV12, NV23, and NV34 are given to each arcs A12, A23, and A34. Magnitude is 1 and each of these arc process line vectors are vertical to each arc.

[0011] In this example, the configuration of two key frames is prepared to the skeleton model 26. Furthermore, a node N1 is fixed and the pass curve 28 is specified as the node N4. And even if such assignment is made, to generate the configuration of the skeleton model in the intermediate frames f1, f2, and f3 as interpolate smoothly the configuration of frames (key frame) f0 and f4 and show it to

drawing 2 (B) is desired. That is, the configuration of a skeleton model [ in / despite a passage / for the specified pass curve 28 top / in a node N4 / an intermediate frame ] is also wanted to change smoothly.

[0012] This invention is made in view of the above technical technical problems, and the place made into the object is to offer the intermediate-frame configuration derivation approach of a skeleton model that the intermediate-frame configuration of the skeleton model interpolated smoothly can be acquired, the configuration deformation approach of a skeleton model, image generation equipment, and an information storage, also when the moving trucking of a node is specified.

[0013]

[Means for Solving the Problem] This invention in order to solve the above-mentioned technical problem from the configuration of the key frame of a skeleton model The node of the skeleton model with which it is the intermediate-frame configuration derivation approach which derives the configuration of the intermediate frame of a skeleton model, and moving trucking was specified so that it may be pulled by the given location on this moving trucking The 1st deformation step which deforms the configuration of a skeleton model, and the sense of the arc direction vector of a skeleton model so that it may approach in the direction of the rate arc direction vector while being based on the arc direction vector in a key frame The 2nd deformation step which deforms the configuration of a skeleton model, and the sense of the arc process line vector of a skeleton model so that it may approach in the direction of a rate arc process line vector while being based on the arc process line vector in a key frame It is characterized by including the 3rd deformation step which deforms the configuration of a skeleton model.

[0014] In this invention, a skeleton model deforms so that the node as which moving trucking was specified may be pulled by the 1st deformation step in the location on moving trucking, and by the 2nd deformation step, a skeleton model deforms so that the sense of the arc direction vector may approach in the direction of the inside rate arc direction vector. Moreover, by the 3rd deformation step, a skeleton model deforms so that the sense of an arc process line vector may approach in the direction of an inside rate arc process line vector. Therefore, according to this invention, it becomes possible to bring the sense of the arc direction vector or an arc process line vector in the direction of the inside rate arc direction vector or an inside rate arc process line vector close, bringing the node as which moving trucking was specified close to the location on moving trucking. Consequently, it can be compatible now in assignment of the moving trucking of a node, and smooth interpolation of the intermediate-frame configuration of a skeleton model.

[0015] In addition, the 1st, 2nd, and 3rd deformation step sequencing is arbitrary. Moreover, the location of a node, the sense of the arc direction vector, and the sense of an arc process line vector do not need to be [ that what is necessary is just to approach in the location on moving trucking, the direction of the inside rate arc direction vector, and the direction of an inside rate arc process line vector at least ] thoroughly in agreement respectively. Moreover, what is necessary is just to be able to acquire respectively the inside rate arc direction vector and an inside rate arc process line vector, using the arc direction vector in a key frame, and an arc process line vector at least.

[0016] Moreover, the basic type which makes said basic variable an unknown including the formula as which this invention expresses a skeleton model by the basic variable including the coordinate of the node of a skeleton model, and the arc length of a skeleton model specifies becoming a given value, At least one side of the valuation plan for specifying uniquely the solution with which said basic type is filled The value of the valuation plan which is changed based on given information, and fills a basic type mostly, and includes the difference of the direction of the arc direction vector of a skeleton model and the direction of the inside rate arc direction vector mostly The minimum, Mostly, the solution to is calculated and it is characterized by deforming the configuration of a skeleton model based on the calculated solution so that it may become the maximum and either of the almost stay. If it does in this way, the solution with which a basic type is filled will be uniquely specified by addition of the conditions which make the minimum etc. mostly a valuation plan including the difference of the direction of the arc direction vector, and the direction of the inside rate arc direction vector, and the configuration of a skeleton model will be determined. Therefore, deformation of a skeleton model which

brings the sense of the arc direction vector in the direction of the inside rate arc direction vector close can be simply realized now.

[0017] Moreover, the basic type which makes said basic variable an unknown including the formula as which this invention expresses a skeleton model by the basic variable including the coordinate of the node of a skeleton model, and the arc length of a skeleton model specifies becoming a given value, At least one side of the valuation plan for specifying uniquely the solution with which said basic type is filled The value of the valuation plan which is changed based on given information, and fills a basic type mostly, and includes the difference of the direction of the arc process line vector of a skeleton model and the direction of an inside rate arc process line vector mostly The minimum, Mostly, the solution to is calculated and it is characterized by deforming the configuration of a skeleton model based on the calculated solution so that it may become the maximum and either of the almost stay. If it does in this way, the solution with which a basic type is filled will be uniquely specified by addition of the conditions which make the minimum etc. mostly a valuation plan including the difference of the direction of an arc process line vector, and the direction of an inside rate arc process line vector, and the configuration of a skeleton model will be determined. Therefore, deformation of a skeleton model which brings the sense of an arc process line vector in the direction of an inside rate arc process line vector close can be simply realized now.

[0018] Moreover, it is characterized by for this invention preparing the control point for controlling the location of the node of the skeleton model with which moving trucking was specified, using the tension which changes in said 1st deformation step according to the distance of this node and this control point between said nodes and said control points of the skeleton model with which moving trucking was specified, and deforming the configuration of a skeleton model. If it does in this way, also when a node is unable to pass along the specified moving trucking top, it can avoid that a breakdown arises in count.

[0019] Moreover, in order that this invention may control the location of two or more nodes of the skeleton model with which moving trucking was specified Prepare at least one control point and it sets to said 1st deformation step. While using the tension which changes to it according to distance with one control point even if these two or more nodes and this \*\* are not between said two or more nodes as which moving trucking was specified, and said at least one control point It is characterized by deforming the configuration of a skeleton model under conditions from which total of this tension becomes below a given value. If it does in this way, when two or more nodes are pulled by at least one control point, total of tension becomes excessive and the situation which \*\*\*\* produces to a skeleton model can be prevented. And according to this invention, each tension becomes the strength according to the distance of a node and a control point further. Therefore, the situation which two or more balance conditions produce in the configuration of a skeleton model can also be prevented.

[0020] Moreover, this invention is characterized by performing the operation which brings the sense of the arc direction vector of a skeleton model in the direction of the inside rate arc direction vector close in the initial stage of the 1st repeated calculation of said 1st deformation step while it performs said 2nd deformation step after said 1st deformation step. If it does in this way, in the initial stage of the 1st repeated calculation of the 1st deformation step, it will become possible to transform a skeleton model into the suitable configuration for the deformation in the 2nd deformation step. Consequently, the situation where deformation of the skeleton model to a proper configuration becomes impossible in the 2nd deformation step can be prevented.

[0021] Moreover, this invention is characterized by performing the operation which pulls the node of the skeleton model with which moving trucking was specified in the given location on this moving trucking in the initial stage of the 2nd repeated calculation of said 2nd deformation step while it performs said 1st deformation step after said 2nd deformation step. If it does in this way, in the initial stage of the 2nd repeated calculation of the 2nd deformation step, it will become possible to transform a skeleton model into the suitable configuration for the deformation in the 1st deformation step. Consequently, the situation where deformation of the skeleton model to a proper configuration becomes impossible in the 1st deformation step can be prevented.

[0022] Moreover, in order for this invention to be the configuration deformation approach of a skeleton

model and to control the location of two or more nodes of a skeleton model While using the tension which prepares at least one control point, and changes to it according to distance with one control point even if these two or more nodes and this \*\* are not between said two or more nodes of a skeleton model, and said at least one control point It is characterized by deforming the configuration of a skeleton model under conditions from which total of this tension becomes below a given value.

[0023] While being able to prevent the situation which \*\*\*\* produces to a skeleton model when two or more nodes are pulled by at least one control point according to this invention, the situation which two or more balance conditions produce in the configuration of a skeleton model can also be prevented.

[0024] Moreover, the 1st deformation step which deforms the configuration of a skeleton model by the 1st repeated calculation which this invention is the configuration deformation approach of a skeleton model, and followed the 1st given condition, While performing said 2nd deformation step after said 1st deformation step including the 2nd deformation step which deforms the configuration of a skeleton model by the 2nd repeated calculation according to the 2nd given condition In the initial stage in said 1st repeated calculation of said 1st deformation step, it is characterized by performing the operation seasoned with said 2nd condition of said 2nd deformation step.

[0025] According to this invention, in the initial stage of the 1st repeated calculation of the 1st deformation step, it becomes possible to transform a skeleton model into the suitable configuration for the deformation in the 2nd deformation step. Consequently, the situation where deformation of the skeleton model to a proper configuration becomes impossible in the 2nd deformation step can be prevented.

[0026] Moreover, the image generation equipment concerning this invention is characterized by including a means to output the configuration of the skeleton model obtained by one of the above-mentioned approaches, and an actuation means to perform the directions for creation of an operator of the configuration of a skeleton model. This becomes realizable [ the configuration data origination tool using the approach of this invention etc. ].

[0027] Moreover, the image generation equipment concerning this invention is characterized by including a means to output the image of the object which moves along with the skeleton model obtained by one of the above-mentioned approaches. It becomes realizable [ the game equipment which used by this the configuration data obtained by the approach of this invention ].

[0028]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the operation gestalt of this invention is explained to a detail based on a drawing.

[0029] 1. \*\*\*\* of the example of a comparison -- explain the example of a comparison of this operation gestalt first.

[0030] The technique using joint angle interpolation as an example of a comparison which searches for the configuration of the skeleton model of the intermediate frames f1, f2, and f3 as shown in drawing 2 (B), and the technique using in berth KINEMA tex can be considered.

[0031] 1.1 Between joint angle assistant, in this example 1 of a comparison, interpolate each joint angle of a skeleton model and search for the configuration of an intermediate frame.

[0032] If drawing 3 (A) is taken for an example, the joint angle theta 10 of the arc A12 in a key frame f0 and the joint angle theta 14 of the arc A12 in a key frame f4 are interpolated, and the joint angle theta 12 in an intermediate frame f2 is searched for. More specifically, it is referred to as  $\theta_{12} = (\theta_{10} + \theta_{14}) / 2$ . Similarly theta 22 is calculated by interpolating theta20 and theta24, and theta 32 is calculated by interpolating theta30 and theta34.

[0033] However, in this example 1 of a comparison, a node N4 will not move in the specified pass curve 28 top. That is, a node N4 comes to pass along the not the location 30 but location 32 on the pass curve 28. Therefore, although the configuration of an intermediate frame can be changed smoothly, the want of the user that you want to move a node N4 on the pass curve 28 cannot be met.

[0034] 1.2 In the example 2 of a comparison of in berth KINEMA tex \*\*, make the fixed node into the root and search for the configuration of an intermediate frame by making into an effector the node as which the pass curve was specified using in berth KINEMA tex. If drawing 3 (B) is taken for an

example, the fixed node N1 will become the root and the node N4 as which the pass curve 28 was specified will become an effector. And the configuration of the skeleton model in an intermediate frame is searched for by in berth KINEMA tex, pinching a node N4 and moving along with the pass curve 28. [0035] However, in this example 2 of a comparison, the configuration 34 in the frame f4 obtained by in berth KINEMA tex will become what is different in the configuration 36 in an original key frame. Therefore, although a node N4 can be moved on the pass curve 28, the want of the user who wants to make the configuration of a key frame into a desired configuration cannot be met.

[0036] In order to solve the problem of the above examples 1 and 2 of a comparison, with this operation gestalt, the intermediate-frame configuration of a skeleton model is drawn by the following technique.

[0037] 2. Outline 2.1 of this operation gestalt Prerequisite \*\*\*\* and a user shall create the motion (animation) of a character in the following procedures. That is, first, a user creates some pauses of a character and registers this as a key frame. Next, the pass curve between key frames (a wide sense moving trucking) is specified to some nodes. By assignment of this pass curve, the location of the node in each intermediate frame between key frames will be specified. In addition, a user may be made to specify the location of the node in an intermediate frame clearly, and you may make it a program ask for it by count based on the passing speed of the node specified by the pass curve specified by a user, or a user.

[0038] Now, in case a user creates the motion of a character, there is a case where he wants to fix the location of a node, from a certain key frame before the following key frame. A pass curve is a straight line, and immobilization of such a node can be regarded [ \*\*\*\*\* ] when the starting point and the terminal point of the pass curve are moreover in agreement.

[0039] So, with this operation gestalt, assignment of a pass curve is made to perform immobilization of a node. That is, when a user wants to fix a node, he will specify the pass curve of the straight line the starting point and whose terminal point correspond as the node. If it does in this way, it will become unnecessary to form a user interface called assignment of node immobilization besides pass curve assignment independently. the node fixed digit with which the user was contradictory by this -- the situation of count failing by the law can be prevented.

[0040] Now, the following two requirements were filled with this operation gestalt, and it aims at generating an intermediate frame which interpolates between key frames smoothly.

[0041] The motion of the skeleton model done in the 1st surely passes along the pause of a key frame. However, it is not this limitation when a skeleton model interferes with a polygon object.

[0042] Except for the case of being geometrically impossible, the node by which the pass curve was specified as the 2nd is made to move as it was surely specified. Here, the condition which cannot be moved by the node in the pass curve top specified are geometrically impossible by constraint of interference with the movable range of the arc length and a joint angle and a polygon object etc. is said.

[0043] 2.2 With the derivation approach book operation gestalt of the intermediate-frame configuration by puller of three steps, the configuration of the intermediate frame of a skeleton model is drawn by puller of three steps. This derivation approach is explained to a detail using PAD (Program Analysis Diagram) of drawing 4 .

[0044] In addition, two key frames which should be interpolated are made into the k-th frame and the k+n-th frame in the following explanation. Moreover, the configuration of the skeleton model in these key frames shall be interpolated, and the k+1st which is an intermediate frame -- one k+n configuration shall be derived.

[0045] 2.2.1 Derive the inside rate arc direction vector about each arc of derivation \*\*\*\* of the inside rate arc direction vector, and a skeleton model (step U1 of drawing 4 ). more -- concrete -- the [ the sense of the arc direction vector of the k-th frame, and ] -- the sense of the arc direction vector of a k+n frame -- equal -- inside -- dividing -- carrying out -- the [ the k+1st - ] -- the inside rate arc direction vector for k+n-1 frames is searched for.

[0046] In addition, the unit vector which goes to the other end from the end of an arc will be called the arc direction vector. The inside rate of the sense of the arc direction vector in a key frame is uniformly carried out to the inside rate arc direction vector.

[0047] If the arc A12 of drawing 5 is taken for an example, the inside rate arc direction vector will be drawn by dividing the sense of the arc direction vector 40 in a key frame f0, and the sense of the arc direction vector 42 in a key frame f4 into four equally. The inside rate arc direction vector about arcs A23 and A34 is drawn similarly.

[0048] While being drawn, the rate arc direction vector is used by Step2 in the case of configuration derivation of an intermediate frame so that it may mention later.

[0049] 2.2.2 under deformation by Nodes puller and AV puller -- after derivation of the rate arc direction vector, and the following procedures -- the [ the k+1st frame to ] -- carry out sequential derivation of the configuration of the skeleton model to a k+n frame. That is, the configuration (configuration of one frame ago) of the skeleton model of i-1 frame is read (step U2 of drawing 4 R> 4), the following two steps (Step1, Step2) are deformed (steps U3 and U4), and it saves as a configuration of i frames (step U5).

[0050] Step1: Make the node as which the pass curve is not specified un-fixing, pull the node as which the pass curve was specified in the given location on a pass curve, and make a skeleton model transform until it is completed by count (step U3 of drawing 4 ). Hauling made to act on a node by this Step1 is made to call it Node puller.

[0051] For example, Node puller is made to act on drawing 6 to the configuration of a key frame f0, and the process which derives the configuration of a frame f1 is shown in it. Nodes N2 and N3 are un-fixing, and are making Node puller act to nodes N1 and N4 in drawing 6 . A node N4 is a node as which the pass curve was specified here. A node N4 will be pulled by this node puller by the location 44 on a pass curve. On the other hand, a node N1 is a fixed node. About the fixed node N1, it is dealt with noting that pass curve assignment of the straight line the starting point and whose terminal point corresponded is made as mentioned above. Namely, as for the node puller which acts on a node N1, die length is set to 0 in an initial state.

[0052] Step2: Fix to the location at the time of Step1 termination the node as which the pass curve was specified, and leave the node as which the pass curve is not specified un-fixing. And the sense of the arc direction vector makes a twist which approaches in the direction of each inside rate arc direction vector if possible act, and a skeleton model is made to transform until it is completed by count (step U4 of drawing 4 ). The twist made to act on this arc is carried out to being referred to as AV puller (arc vector puller).

[0053] For example, nodes N1 and N4 are fixed, nodes N2 and N3 are made un-fixing, and AV puller is made to act in drawing 7 . By this, a skeleton model will be transformed so that the sense of arcs A12, A23, and A34 (the arc direction vector) may approach in the direction of the inside rate arc direction vectors 46, 48, and 50 respectively.

[0054] In addition, deformation of the skeleton model by Nodes puller and AV puller is realizable with the in berth KINEMA tex by the technique of JP,10-208072,A for which for example, these people applied.

[0055] Moreover, generally the direction of each arc direction vector and the direction of each Naka rate arc direction vector are not thoroughly in agreement. For example, in drawing 7 , nodes N1 and N4 are being fixed and it is because it is geometrically impossible in many cases to make the direction of each arc direction vector and the direction of each Naka rate arc direction vector thoroughly in agreement under such conditions. However, if deformation by Nodes puller and AV puller is performed using in berth KINEMA tex as shown in JP,10-208072,A, it will become possible to change the configuration of an intermediate frame smoothly.

[0056] The deformation processing (steps U2-U5 of drawing 4 ) by the above nodes puller and AV puller It is repeated until it becomes  $i=k+n$  from  $i=k+1$ . The configuration of the configuration of the k-th frame to the k+1st frame, Sequential derivation of the configuration of a skeleton model is carried out like the configuration of the k+4th frame from the configuration of the k+3rd frame, and the configuration of the k+3rd frame from the configuration of the configuration of the k+1st frame to the k+2nd frame, and the configuration of the k+2nd frame. the [ and ] -- if the configuration of the skeleton model of a K+n frame is drawn, correction processing of the sense of each arc process line vector will

be performed.

[0057] the [ namely, / which was eventually obtained according to deformation by Nodes puller and AV puller ] -- the sense of the arc process line vector in a  $k+n$  frame differs from the sense when registering as a key frame.

[0058] If drawing 8 (A) is taken for an example, the sense of the arc process line vector 52 of the frame  $f_4$  (the  $k+n$  frame) obtained according to deformation by Nodes puller and AV puller differs from the sense of the arc process line vector 54 when registering as a key frame. Then, correction processing of the sense of the normal vector 52 of an arc is needed.

[0059] 2.2.3 Derive an inside rate arc process line vector about each arc of derivation \*\*\*\* of an inside rate arc process line vector, and a skeleton model (step U6 of drawing 4 ).

[0060] the [ which was more specifically eventually obtained according to deformation by Nodes puller and AV puller ] -- the [ the arc process line vector of a  $k+n$  frame, and / at the time of key frame registration ] -- the arc process line vector of a  $k+n$  frame is compared, and angle-of-rotation  $\phi_{iNV}$  of the circumference of the arc direction vector is calculated. If drawing 8 (A) is taken for an example, angle-of-rotation  $\phi_{iNV}$  of the circumference of the arc direction vector to the arc process line vectors 52-54 will be calculated.

[0061] Next, this  $\phi_{iNV}$  is divided equally by frame number  $n$ . And let what twisted the arc process line vector of each frame to the circumference of the arc direction vector of the arc be an inside rate arc process line vector. the [ namely, ] -- with a  $k+i$  frame, that to which only  $\phi_{iNV} - i/n$  twisted the arc process line vector serves as an inside rate arc process line vector.

[0062] If drawing 8 (B) is taken for an example, with a frame  $f_1$ , that to which only  $\phi_{iNV} / 4$  twisted the arc process line vector 56 to the circumference of the arc direction vector will become the inside rate arc process line vector 58. On the other hand, with a frame  $f_2$ , that to which only  $3\phi_{iNV} / 4$  twisted the arc process line vector becomes an inside rate arc process line vector in  $\phi_{iNV}/2$  and a frame  $f_3$ .

[0063] In addition, the arc direction vector and an arc process line vector cross at right angles, and an inside rate arc process line vector rotates [ include angle / given ] an arc process line vector to the circumference of the arc direction vector. Therefore, the arc direction vector and an inside rate arc process line vector will also cross at right angles, and the requirements as a normal vector of an arc will be satisfied.

[0064] 2.2.4 under deformation by NV puller -- after derivation of a rate arc process line vector, and the following procedures -- the [ the  $k+1$ st frame to ] -- make the sequential correction of the configuration of the skeleton model to -one  $k+n$ . That is, the configuration of the skeleton model of  $i$  frames is read (step U7 of drawing 4 ), the following Step3 is transformed (step U8), and it saves as a configuration of  $i$  frames (step U9).

[0065] Step3: Fix all nodes. And the sense of an arc process line vector makes a twist which approaches in the direction of the inside rate arc process line vector of each of the frame concerned if possible act, and a skeleton is made to transform until it is completed by count (step U8 of drawing 4 ). The twist made to act on this arc process line vector is carried out to being referred to as NV puller (normal vector puller). the deformation processing (steps U7-U9 of drawing 4 ) by this NV puller repeats until it becomes  $i=k+n-1$  from  $i=k+1$  -- having -- the [ the  $k+1$ st frame to ] -- the sequential correction of the sense of the arc process line vector of the skeleton model to -one  $k+n$  is made.

[0066] If drawing 8 (B) is taken for an example, NV puller which brings the sense of the arc process line vector 56 of an arc A12 in the direction of the inside rate arc process line vector 58 close will be made to act with a frame  $f_1$ . The same is said of frames  $f_2$ ,  $f_3$ , and  $f_4$ . For example, with a frame  $f_4$ , NV puller which, if possible, brings the sense of the arc process line vector 52 close to the sense of the inside rate arc process line vector 54 acts in drawing 8 (A). Thereby, the sense of the arc process line vector 52 can cancel the situation of differing from the sense of the arc process line vector 54 at the time of key frame registration (inside rate arc process line vector).

[0067] As mentioned above, key frame interpolation to which it is satisfied with carrying out the sequential operation of the puller of three steps of Nodes puller, AV puller, and NV puller, and deriving the configuration of an intermediate frame of the two above-mentioned requirements (the motion of the

done skeleton model surely passes along the pause of a key frame, and the node as which the pass curve was specified is made to move except for the case of being geometrically impossible as it was surely specified) of 2.1 can be realized now.

[0068] 2.3 Use the technique of the rubber band indicated by JP,10-208072,A as an above-mentioned node puller of Step1 with the node puller book operation gestalt by the rubber band.

[0069] If drawing 9 (A) is taken for an example, the node N4 as which the pass curve was specified will be pulled by the node puller 62, i.e., a rubber band, by the location 60 on a pass curve (control point). Here, a rubber band 62 has a root and the point, the root of a rubber band 62 moves with a control point 60, and the point of a rubber band 62 remains fixed to a node N4. A rubber band 62 has the property which it is going to shrink, and the tension (force which is going to make distance the minimum) which changes according to the distance of a node N4 and a control point 60 will commit it between a node N4 and a control point 60. As shown in drawing 9 (A), a node N4 will be pulled by this tension in the direction of a control point 60, and a skeleton model will deform with it.

[0070] The following advantages can be acquired by using a rubber band as a node puller. For example, when the pass curve 64 as a user shows to drawing 9 (B) is specified, in a frame f2, it is impossible to move a node N4 to the location 66 on the pass curve 64. In such a case, if a rubber band is not used, count will fail. However, if the node N4 of a frame f2 is pulled in the location 66 which is a control point using a rubber band 68, the breakdown of the above count can be avoided.

[0071] 2.4 Assignment of a pass curve is possible to two or more nodes [gestalt / of the tension of a rubber band / adaptation adjustable book operation]. For example, as shown in drawing 10 (A), when a pass curve is specified as two nodes N4 and N5, two control points 70 and 72 for controlling the location of these two nodes N4 and N5 are prepared. And rubber bands 74 and 76 act between nodes N4 and N5 and control points 70 and 72.

[0072] Thus, two or more rubber bands may act on two or more nodes with this operation gestalt.

[0073] although it will become easy to produce \*\*\*\* to a skeleton model if the tension of a rubber band becomes strong -- this -- rioting -- it is preparing an upper limit in the tension of a rubber band -- an extent dissolution can be carried out. However, if two or more rubber bands act on two or more nodes as mentioned above, the following problems will arise only by preparing an upper limit in the tension of a rubber band (when two or more rubber bands having acted on the skeleton model).

[0074] For example, like drawing 10 (A), if nodes N4 and N5 are pulled by rubber bands 74 and 76 in the same direction, even if the tension of each rubber bands 74 and 76 is small, total of the tension of all rubber bands will become large. For this reason, even if it prepares an upper limit in the tension of each rubber bands 74 and 76, \*\*\*\* will arise to a skeleton model.

[0075] Moreover, as shown in drawing 10 (B), the pass curves 78 and 80 are specified to nodes N1 and N3, and the case to which rubber bands 82 and 84 were extended where it changes into a balance condition again is considered in an intermediate frame f2. In this case, only by preparing an upper limit in the tension of rubber bands 82 and 84, all the conditions of drawing 10 (B), (C), and (D) balance, and it will be in a condition. When the die length of a rubber band is  $l_r^*$ , tension becomes an upper limit and is because the tension of rubber bands 82 and 84 has reached in the upper limit in all the cases of drawing 10 (B), (C), and (D) and it is equal at them. Namely, for a user, although the balance condition of drawing 10 (B) is the most desirable, it may balance, as shown in drawing 10 (C) and (D), and may be in a condition.

[0076] So, with this operation gestalt, when two or more tension (rubber band) works in this way between two or more nodes and the control point of plurality (one is sufficient), while using the tension according to the distance between a node and a control point, the skeleton model is transformed under conditions from which total of the tension becomes below a given value.

[0077] According to this operation gestalt, even if the tension by two or more rubber bands 74 and 76 works to two or more nodes N4 and N5 like drawing 10 (A), total of such tension becomes below a given value. Therefore, the situation which \*\*\*\* produces to a skeleton model is avoidable. Moreover, each tension does not have the upper limit of a proper, but the strength changes according to the distance of a node and a control point. Therefore, the situation which will be in a balance condition as shown in

drawing 10 (C) and (D) is also avoidable. It is because the tension of 84 becomes strong, the tension of 82 becomes strong rather than a rubber band 84 in drawing 10 R> 0 (D) and both balance conditions collapse rather than a rubber band 82 in drawing 10 (C).

[0078] 2.5 Like additional drawing 11 (A) of AV puller in Step1, when you interpolate frames (key frame) f0 and f4, suppose that pass curve assignment as shown in 86 to a node N4 was made. In this case, the configuration of the skeleton model in a frame f1 should turn into the configuration 87 shown in drawing 11 (B) essentially.

[0079] However, in drawing 11 (C), if the node puller of Step1 mentioned above to the configuration of the skeleton model of a frame f0 is made to act, it will become an indeterminate into any of the configurations 88 and 90 of drawing 11 (C) the configuration of a skeleton model deforms. In this case, a problem will not be produced if it deforms into a configuration 88. However, when it has deformed into the configuration 90, even if it makes AV puller act in Step2 of after that, AV puller which acts on an arc A12, and AV puller which acts on an arc A34 will balance mutually. A configuration 90 will not deform any more but it will become impossible for this reason, to reach the original configuration 87 of drawing 11 (B).

[0080] So, with this operation gestalt, step U3 of drawing 4 is corrected as shown in PAD of drawing 12, and in the 1st loop formation (a wide sense initial stage of repeated calculation) of the repeated calculation of Step1, not only the node puller but AV puller is made to act simultaneously, and is transforming the skeleton model (step V1). That is, in the 1st loop formation of repeated calculation, not only the operation that pulls the node as which the pass curve was specified in the given location on a pass curve but the operation which brings the sense of an arc process line vector in the direction of the inside rate arc direction vector close is performed. On the other hand, after the 2nd loop formation, Node puller is made to act, and the skeleton model is transformed until it is completed by count (step V2).

[0081] By making it above, it becomes possible to make the configuration of the skeleton model in a frame f1 into the original configuration 87 of drawing 11 (B).

[0082] In addition, although both nodes puller and AV puller are made to act, for example, both nodes puller and AV puller may be made to act also in the 2nd and 3rd loop formation etc. only in the 1st loop formation in drawing 12. Moreover, it is possible to make Node puller act by the 1st loop formation, and to also make both nodes puller and AV puller act by the 2nd loop formation.

[0083] 3. In the case of deformation of the skeleton model by the configuration deformation approach nodes puller, AV puller, and NV puller of a skeleton model, the configuration deformation approach of the skeleton model indicated by JP,10-208072,A can be used. Hereafter, the configuration deformation approach of this skeleton model is explained briefly.

[0084] 3.1 Use the component (u, v, w) of the arc process line vectors 110, 111, and 112 vertical to the coordinate (x y, z) of nodes 102, 103, and 104, and arcs 106, 107, and 108 as a basic variable which expresses the skeleton model 118 with the configuration deformation approach of a basic principle book operation gestalt as shown in drawing 13 (A). Thus, it becomes possible by using a node coordinate and an arc process line vector as a basic variable to treat all nodes and arcs as an equal thing. In addition, it is also possible to substitute other variables for an arc process line vector.

[0085] Next, the formula which specifies that the arc length serves as a given value as a basic type which makes the above-mentioned basic variable an unknown as shown in drawing 13 (B), the formula which specifies that the die length of an arc process line vector serves as a given value, and the formula which specifies that an arc process line vector becomes vertical to an arc are prepared. In addition, it is also possible to substitute other formulas for the basic type  $g=0$  and  $h=0$ , for example.

[0086] The basic type shown in drawing 13 (B) here becomes nonlinear. So, with this operation gestalt, a solution is calculated with repetitive numerical orientation methods, such as Newton's method. Thus, by using Newton's method etc., it becomes possible to express a basic type with the primary type of the variation of a basic variable. The simultaneous equations which should be solved by this are shown in drawing 13 (C).

[0087] However, there are more variables by the formula of drawing 13 (C) than the number of formulas. Then, the valuation plan for specifying uniquely the solution which fills a basic type with this

operation gestalt is prepared. And the minimum and the conditions of making it mostly the maximum and either of the almost stay are mostly added for the value of a valuation plan, and the solution to is calculated with the application of Lagrangian multipliers. Since the formula which should be solved becomes like drawing 13 (D) and its number of variables corresponds with the number of formulas by using Lagrangian multipliers, it becomes possible to define a solution uniquely.

[0088] In addition, a skeleton model is made to transform with this operation gestalt based on given information, such as a coordinate of the given location on a pass curve, the inside rate arc direction vector, and an inside rate arc process line vector. At this time, a basic type and a valuation plan change based on the above-mentioned given information. The form of the known quantity contained in a basic type or a valuation plan based on the above-mentioned given information and the formula itself will specifically change, and the configuration of a skeleton model will deform by this.

[0089] 3.2 As shown in drawing 14 (A), with primary approximation of the variation of an arc process line vector, now this operation gestalt, rho which is one given variable expresses the variation of the arc process line vector  $n(u, v, w)$ , and the solution to is calculated with them. More specifically, the variation of the arc process line vector  $n$  is approximated by the linear expression of Variable rho. Although the arc process line vector  $n$  is expressed with three variables of  $u$ ,  $v$ , and  $w$ , as shown in drawing 14 (A), since magnitude is fixed at right angles to an arc 150, the degree of freedom of  $n$  of  $n$  is 1 actually. Therefore, the variation of  $n$  can also be expressed with one variable rho, the number of the basic variables which should be solved by this can be reduced, and improvement in the speed of processing can be attained.

[0090] 3.3 With the valuation plan and this operation gestalt, in order to acquire deformation of a desirable skeleton model, the variation of the sense of the arc which has the variation of the include angle between arcs and the distance between a node and a given control point, and has a fixed node in an edge, the variation of a node coordinate, the rate variation of a node coordinate, etc. are included in the valuation plan. As shown in drawing 1414 (B), more specifically, various conditions are added to the valuation plan. For example, when the variation of the include angle between arcs is included in a valuation plan and minimum-ization etc. carries out the square sum of the variation of the include angle between arcs, between 1 set of some arcs can prevent the situations, such as projecting and bending, and, on the whole, can make [ of balance ] bending between arcs good. Moreover, by including the distance between a node and a given control point in a valuation plan, a rubber band is realizable. Moreover, the variation of the sense of the arc which has a fixed node in an edge, and the variation of a node coordinate are included in a valuation plan, and it can prevent that a solution becomes an indeterminate by setting up the arc revolution damper of the circumference of a fixed node, a node damper, etc. Moreover, the variation of a node coordinate and the rate variation of a node coordinate are included in a valuation plan, and \*\*\*\* of the arc resulting from convergence of count not being stabilized can be prevented by setting up a node damper and node inertia.

[0091] 4. Explain the example of a detailed algorithm, next the detailed algorithm of this operation gestalt. In addition, the semantics of the total sign used in the following explanation is as follows. In addition, in the following, three nodes which are two arcs which constitute an angle type, and a call and an angle type for the include angle between arcs, and an endpoint of those are called the component of an angle type.

[0092]

[Equation 1]

$\sum_{node\ i} X_i$  : すべてのノードについて  $X$  の総和をとる。

$\sum_{node\ i \in C} X_i$  : 条件  $C$  を満たすノードについて  $X$  の総和をとる。

$\sum_{arc\ ij} X_{ij}$  : すべてのアークについて  $X$  の総和をとる。

$\sum_{arc\ ij \in C} X_{ij}$  : 条件  $C$  を満たすアークについて  $X$  の総和をとる。

$\sum_{ang} X$  : すべての重み付けされたアングルについて  $X$  の総和をとる。

$\sum_{arc\ ij \in N_i} X_{ij}$  : ノード  $N_i$  の周りのアークについて  $X$  の総和をとる。

$\sum_{ang \in N_i} X$  : ノード  $N_i$  を構成要素とするすべてのアングルについて、 $X$  の総和をとる。

$\sum_{ang \in A_{ij}} X$  : アーク  $A_{ij}$  を構成要素とするすべてのアングルについて、 $X$  の総和をとる。

$\sum_{node\ i \in N_i} X_i$  : アングルの構成要素であるノード(3個)について、 $X$  の総和をとる。

$\sum_{arc\ ij \in A_{ij}} X_{ij}$  : アングルの構成要素であるアーク(2本)について、 $X$  の総和をとる。

Moreover, the relation between the sequence of a suffix and a sign is as follows.

[0093]

[Equation 2]

$$L_{ij} = L_{ji}, \quad l_{ij} = l_{ji}$$

$$n_{ij} = n_{ji}, \quad u_{ij} = u_{ji}, \quad v_{ij} = v_{ji}, \quad w_{ij} = w_{ji}$$

$$a_{ij} = -a_{ji}, \quad x_{ij} = -x_{ji}, \quad y_{ij} = -y_{ji}, \quad z_{ij} = -z_{ji}, \quad b_{ij} = -b_{ji}$$

$$s_{ij} = -s_{ji}, \quad s_{xij} = -s_{xji}, \quad s_{yij} = -s_{yji}, \quad s_{zij} = -s_{zji}$$

$$\rho_{ij} = -\rho_{ji}$$

$$f_{ij} = f_{ji}, \quad F_{ij} = F_{ji}, \quad \alpha_{ij} = \alpha_{ji}$$

4.1 Set the coordinate of Node nickel to  $(x_i, y_i, z_i)$  in basic type drawing 15 . Moreover, since a revolution in three-dimension space is expressed, an arc process line vector is prepared in an arc. The normal vector of an arc  $A_{ij}$  (arc which connects Node nickel and Node  $N_j$ ) is set to  $n_{ij}$  ( $u_{ij}, v_{ij}, w_{ij}$ ). The configuration of a skeleton model is expressed with this operation gestalt using these basic variables. The following basic type is realized for every arc.

[0094]

[Equation 3]

$$f_{ij} \equiv \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2} - L_{ij} = 0 \quad (1)$$

$$g_{ij} \equiv u_{ij}^2 + v_{ij}^2 + w_{ij}^2 - 1 = 0 \quad (2)$$

$$h_{ij} \equiv (x_j - x_i)u_{ij} + (y_j - y_i)v_{ij} + (z_j - z_i)w_{ij} = 0 \quad (3)$$

A formula (1) means that the die length of an arc Aij is Lij. A formula (2) means that the normal magnitude of a vector is 1. A formula (3) means that an arc process line vector and an arc are vertical. [0095] 4.2 The solution method equation (1) of a basic equation, (2), and (3) are nonlinear equations, and there are few equations than the number of variables. Then, it is made solution Lycium chinense combining Newton's method and Lagrangian multipliers.

[0096] In addition, the suffix of a variable is omitted and written especially when there is no need of directing.

[0097] 4.2.1 Define the variation of each variable for every one application loop formation of Newton's method as follows.

[0098]

[Equation 4]

$$\xi_i \equiv \Delta x_i, \quad \eta_i \equiv \Delta y_i, \quad \zeta_i \equiv \Delta z_i \quad (4)$$

A degree type will be obtained if Newton's method is applied to the above-mentioned basic type (1).

[0099]

[Equation 5]

$$\sum_{\text{node } k} \left( \frac{\partial f_{ij}}{\partial x_k} \xi_k + \frac{\partial f_{ij}}{\partial y_k} \eta_k + \frac{\partial f_{ij}}{\partial z_k} \zeta_k \right) + f_{ij} = 0 \quad (5)$$

It will become a degree type if this is arranged.

[0100]

[Equation 6]

$$F_{ij} \equiv [(x_j - x_i)(\xi_j - \xi_i) + (y_j - y_i)(\eta_j - \eta_i) + (z_j - z_i)(\zeta_j - \zeta_i) + l_{ij}(l_{ij} - L_{ij})] / \lambda^2 = 0 \quad (6)$$

lij is the current value of arc length and is expressed with a degree type. It becomes lij=Lij after having been completed by count.

[0101]

[Equation 7]

$$l_{ij} \equiv \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2} \quad (7)$$

Moreover, lambda is a scale factor. As a value of lambda, the average of the arc length Lij will be used like a degree type. In addition, Narc is the number of the arc which constitutes a skeleton.

[0102]

[Equation 8]

$$\lambda = \frac{1}{N_{\text{arc}}} \sum_{\text{arc } ij} L_{ij} \quad (8)$$

About an equation (2), (3), and Variables u, v, and w, in order to reduce the unknown of the equation which should be solved, Newton's method is not used but the primary approximation by the 1 variable rho described below is used.

[0103] 4.2.2 The primary approximation arc process line vector nij of arc process line vector variation is vertical to an arc Aij, and since it is magnitude 1, though Components uij, vij, and wij are three variables, as shown in drawing 14 (A), the degree of freedom of change is 1. Then, in order to reduce the unknown of the equation which should be solved, primary approximation by one variable is performed.

[0104] As shown in drawing 15, the unit vector which goes to the terminal point node Nj from the starting point node nickel of an arc is defined as the arc direction vector aij. Moreover, as shown in this drawing, Vector sij is made on an arc Aij.

[0105]

[Equation 9]

$$a_{ij} \equiv (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$$

$$x_{ij} \equiv (x_j - x_i)/l_{ij}, \quad y_{ij} \equiv (y_j - y_i)/l_{ij}, \quad z_{ij} \equiv (z_j - z_i)/l_{ij} \quad (9)$$

$$s_{ij} \equiv (s_{xij}, s_{yij}, s_{zij}) \equiv n_{ij} \times a_{ij} \quad (10)$$

$$s_{xij} \equiv v_{ij}z_{ij} - w_{ij}y_{ij}, \quad s_{yij} \equiv w_{ij}x_{ij} - u_{ij}z_{ij}, \quad s_{zij} \equiv u_{ij}y_{ij} - v_{ij}x_{ij}$$

If a formula (2) and (3) are differentiated and arranged, variation deltaij (delta uij, delta vij, delta wij) of nij (uij, vij, wij) can be approximated as a primary type of newly introduced strange variable rhoij like a degree type.

[0106]

[Equation 10]

$$\begin{aligned} \Delta u_{ij} &= \rho_{ij}s_{xij} - x_{ij} \left[ u_{ij}(\xi_j - \xi_i) + v_{ij}(\eta_j - \eta_i) + w_{ij}(\zeta_j - \zeta_i) \right] / l_{ij} \\ \Delta v_{ij} &= \rho_{ij}s_{yij} - y_{ij} \left[ u_{ij}(\xi_j - \xi_i) + v_{ij}(\eta_j - \eta_i) + w_{ij}(\zeta_j - \zeta_i) \right] / l_{ij} \\ \Delta w_{ij} &= \rho_{ij}s_{zij} - z_{ij} \left[ u_{ij}(\xi_j - \xi_i) + v_{ij}(\eta_j - \eta_i) + w_{ij}(\zeta_j - \zeta_i) \right] / l_{ij} \end{aligned} \quad (11)$$

nij makes n'ij the value taken in the following event cycle. Although n'ij should be essentially vertical to an arc Aij and should serve as magnitude 1, it will produce an error to the order of the square of variation. Then, what corrected the direction first and modified magnitude to 1 like a degree type is made into n'ij. However, a'ij is a value which aij takes in the following event cycle.

[0107]

[Equation 11]

$$\tilde{n}_{ij} = a'_{ij} \times \left[ (n_{ij} + \Delta n_{ij}) \times a'_{ij} \right] \quad (12)$$

$$n'_{ij} = \tilde{n}_{ij} / |\tilde{n}_{ij}|$$

4.2.3 The application type (6) of Lagrangian multipliers has few formulas than the number of variables, and since it does not contain Variable rho, it cannot define deformation of a skeleton model uniquely only now. Then, the valuation plan containing rho is prepared and a solution is calculated with the application of Lagrangian multipliers under the conditions of minimum-izing this formula. Valuation plans are formulas U1, U2, and U 3. -- It constitutes as total Ue. Undetermined-multipliers alphasij is introduced and U is defined like a degree type.

[0108]

[Equation 12]

$$U \equiv \sum_{\text{arc } ij} \alpha_{ij} F_{ij} + U_e \equiv \sum_{\text{arc } ij} \alpha_{ij} F_{ij} + \sum_k U_k \quad (13)$$

A formula (6) and a degree type (14) are allied and Solutions xi, eta, zeta, and rho are acquired for this by solution Lycium chinense.

[0109]

[Equation 13]

$$\frac{\partial U}{\partial \xi_i} = 0, \quad \frac{\partial U}{\partial \eta_i} = 0, \quad \frac{\partial U}{\partial \zeta_i} = 0, \quad \frac{\partial U}{\partial \rho_{ij}} = 0 \quad (14)$$

Based on the acquired solution, it asks for x and value x with new y and z', y', and z' by the degree type, and the coordinate of a node is decided.

[0110]

[Equation 14]

$$x' = x + \xi, \quad y' = y + \eta, \quad z' = z + \zeta \quad (15)$$

And formula (11), It asks for new value n' (u', v', w') of n (u, v, w) by (12), and an arc process line vector is decided.

[0111] 4.3 Direction immobilization 4.3.1 of arc When the direction of the semantic arc of direction immobilization of an arc is fixed, the arc shall receive the following constraint.

[0112] That is, only parallel translation becomes possible when the node of ends is not being fixed (the sense of an arc process line vector cannot change, either). On the other hand, when at least one side is being fixed among the nodes of ends, neither migration nor a revolution can be performed (full fixity condition).

[0113] 4.3.2 When direction immobilization of two or more arcs which carry out Trans group contiguity is carried out and these arcs move, these arcs will be united and will carry out a parallel displacement. The group of such one or more arcs (or two or more nodes) will be called trans group.

[0114] If one of the nodes in trans group is made into a representation node, the movement magnitude of nodes other than the representation node in trans group will become equal to the movement magnitude of a representation node.

[0115] About the arc by which direction immobilization was carried out, a formula (1) and (6) become unnecessary and Variable rho disappears. About nodes other than the representation node in trans group, Variables xi, eta, and zeta disappear from a formula (14). Thus, a count load can be made light because the number of variables becomes fewer.

[0116] 4.4 creation of a valuation plan -- as mentioned above, in order to apply Lagrangian multipliers, it is necessary to prepare the valuation plan which should be carried out [ minimum ]-izing As a valuation plan, as drawing 14 (B) explained, the various valuation plans containing the variation of the include angle between arcs, the variation of a node coordinate, the rate variation of a node coordinate, etc. can be considered. It is indicated by JP,10-208072,A about the detail of these valuation plans.

[0117] 4.4.1 The setting-out rubber band of a rubber band is an imagination arc with the property which it is going to contract. Here, the end of a rubber band is set to (xi, yi, zi), and the other end is set to (xci, yci, zci). A user can transform a skeleton model into a desired configuration using this rubber band so that it may be indicated by JP,10-208072,A. In this case, a user becomes the node nickel which carried out the pick with the mouse etc., and the end (xi, yi, zi) of a rubber band moves the other end (xci, yci, zci) according to a motion of a user's mouse.

[0118] Moreover, this rubber band can be used for Node puller as mentioned above. In this case, an end (xi, yi, zi) becomes the node nickel by which pass curve assignment was carried out, and the other end (xci, yci, zci) becomes a control point (given location on a pass curve).

[0119] The shrinkage characteristics of a rubber band can be expressed by adding the degree type U2 to

the valuation plan  $U_e$  of a formula (13).  $W_r$  is a wait value (weighting factor) showing the contractile (tension) strength of a rubber band.

[0120]

[Equation 15]

$$U_2 = \sum_{\text{node } i}^{N_i | \text{pick}} U_{2i} \quad (16)$$

$$U_{2i} = W_r \left[ (x_i - x_{ci} + \xi_i)^2 + (y_i - y_{ci} + \eta_i)^2 + (z_i - z_{ci} + \zeta_i)^2 \right] / \lambda^2 \quad (17)$$

The partial differential of  $U_{2i}$  is as follows.

[0121]

[Equation 16]

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_{2i}}{\partial \xi_i} &= \frac{2W_r}{\lambda^2} (\xi_i + x_i - x_{ci}) \\ \frac{\partial U_{2i}}{\partial \eta_i} &= \frac{2W_r}{\lambda^2} (\eta_i + y_i - y_{ci}) \\ \frac{\partial U_{2i}}{\partial \zeta_i} &= \frac{2W_r}{\lambda^2} (\zeta_i + z_i - z_{ci}) \end{aligned} \quad (18)$$

4.4.2 When the tension of the adaptation adjustable rubber band of the wait value of a rubber band becomes strong, there is an inclination which \*\*\*\* generates. Then, the wait value  $W_r$  of a rubber band is made adjustable according to the condition of a skeleton model. Under the present circumstances, it is inadequate for a wait value just to establish an upper limit, and it is necessary to take the following case into consideration.

[0122] When the pick of two or more nodes is carried out to the 1st and it pulls in the same direction, even if the tension of each rubber band is small, total of the tension of all rubber bands becomes large (refer to drawing 10 (A)).

[0123] The following nonconformities arise in having prepared the upper limit in the 2nd simply at the tension of a rubber band, when two or more nodes were pulled in the different direction. That is, where a rubber band is extended, when it is completed by the configuration of a skeleton model, the case where a balance condition does not become settled uniquely arises. For example, suppose that one arc was pulled right and left like drawing 16 (A). Here, if the limit length of rubber bands 120 and 122 is made into  $lr^*$ , all of drawing 16 (B), (C), and (D) will be in a balance condition. In drawing 16 (B), (C), and (D), it is because all of the die length of rubber bands 120 and 122 have become more than  $lr^*$  and all of the tension of rubber bands 120 and 122 have become a upper limit equally.

[0124] Then, the wait value  $W_r$  of a rubber band is made into the value proportional to the inverse number of total of the die length  $l_{ri}$  of a rubber band as shown in a degree type.

[0125]

[Equation 17]

$$W_r = W_{r0} \lambda / \sum_{\text{node } i}^{N_i | \text{pick}} l_{ri} \quad (19)$$

$$l_{ri} \equiv \sqrt{(x_i - x_{ci})^2 + (y_i - y_{ci})^2 + (z_i - z_{ci})^2} \quad (20)$$

However, when total of rubber band length is small, upper-limit  $W_r^*$  is set to  $W_r$  so that the wait value

Wr may not become large too much.

[0126] The configuration of a skeleton model can be deformed now under conditions from which total of the tension of the rubber band which commits Wr between two or more nodes and two or more control points by carrying out adjustable control like a formula (19) becomes below a given value. Moreover, the upper limit of a proper is not prepared in the tension of each rubber band, and the tension of a rubber band changes like a formula (17) according to the distance of the Node nickel (xi, yi, zi) and the control point (xci, yci, zci) where the pass curve was specified. Therefore, the situation where a balance condition as shown in drawing 16 (B), (C), and (D) does not become settled uniquely can be avoided now.

[0127] 4.4.3 Realize the node puller node puller using the rubber band explained with Section 4.4.1 or 4.4.2. By making Node puller act and performing convergence count, deformation of the skeleton model by Node puller is realizable.

[0128] 4.4.4 When AV puller AV puller is made to act, make a skeleton model transform so that the square sum of the difference of the sense of the arc direction vector of each arc and the inside rate arc direction vector may become the minimum. This deformation is realizable by adding the degree type UA to the valuation plan Ue of a formula (13), and performing convergence count.

[0129]

[Equation 18]

×

ID=000020

WA is a wait value (weighting factor) showing the strength of AV puller here. As shown in drawing 17, the angle of the arc direction vector aij of an arc Aij and the inside rate arc direction vector apij to make is set to thetapij. Moreover, variation of thetapij is set to phipij like a degree type.

[0130]

[Equation 19]

$$\phi_{pij} \equiv \Delta\theta_{pij} \quad (2\ 3)$$

phipij is made to express with the primary approximation of xi, eta, and zeta. First, a degree type is realized.

[0131]

[Equation 20]

$$\cos\theta_{pij} = \mathbf{a}_{ij} \cdot \mathbf{a}_{pij} \quad (2\ 4)$$

$$\cos(\theta_{pij} + \phi_{pij}) = (\mathbf{a}_{ij} + \Delta\mathbf{a}_{ij}) \cdot \mathbf{a}_{pij} \quad (2\ 5)$$

A degree type will be obtained, if the secondary more than term of phipij is disregarded and a top type is transformed.

[0132]

[Equation 21]

$$\phi_{pij} = -\frac{1}{\sin\theta_{pij}} \Delta\mathbf{a}_{ij} \cdot \mathbf{a}_{pij} \quad (2\ 6)$$

As shown in drawing 17, unit-vector aqij vertical to aij is made in the flat surface which aij and apij make.

[0133]

[Equation 22]

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_{qij} &\equiv (x_{qij}, y_{qij}, z_{qij}) \\ &= \left[ \mathbf{a}_{pij} - (\mathbf{a}_{ij} \cdot \mathbf{a}_{pij}) \mathbf{a}_{ij} \right] / \sin \theta_{pij} \end{aligned} \quad (27)$$

If a formula (26) is transformed using a formula (27) etc. and it asks for the partial differential of UAij by xii, xij, etai, etaj, zetai, zetaj, and rhoij, it will become like a degree type.

[0134]

[Equation 23]

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_{Aij}}{\partial \xi_i} &= -\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \xi_j} = -\frac{2W_A}{l_{ij}^2} x_{qij} \left[ x_{qij}(\xi_j - \xi_i) + y_{qij}(\eta_j - \eta_i) + z_{qij}(\zeta_j - \zeta_i) \right] + \frac{2W_A}{l_{ij}} x_{qij} \theta_{pij} \\ \frac{\partial U_{Aij}}{\partial \eta_i} &= -\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \eta_j} = -\frac{2W_A}{l_{ij}^2} y_{qij} \left[ x_{qij}(\xi_j - \xi_i) + y_{qij}(\eta_j - \eta_i) + z_{qij}(\zeta_j - \zeta_i) \right] + \frac{2W_A}{l_{ij}} y_{qij} \theta_{pij} \\ \frac{\partial U_{Aij}}{\partial \zeta_i} &= -\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \zeta_j} = -\frac{2W_A}{l_{ij}^2} z_{qij} \left[ x_{qij}(\xi_j - \xi_i) + y_{qij}(\eta_j - \eta_i) + z_{qij}(\zeta_j - \zeta_i) \right] + \frac{2W_A}{l_{ij}} z_{qij} \theta_{pij} \end{aligned} \quad (28)$$

$$\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \rho_{ij}} = 0 \quad (29)$$

By the above approach, in the case of thetapij=0, Vector aqij becomes unfixed and serves as a calculia. Then, in the case of thetapij<<1, a degree type is used.

[0135]

[Equation 24]

$$U_{Aij} = W_A \left| \mathbf{a}_{ij} + \Delta \mathbf{a}_{ij} - \mathbf{a}_{pij} \right|^2 \quad (30)$$

If a formula (30) is transformed and it asks for the partial differential of UAij by xii, xij, etai, etaj, zetai, zetaj, and rhoij, it will become like a bottom type.

[0136]

[Equation 25]

$$\begin{aligned}
\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \xi_i} &= -\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \xi_j} = \frac{2W_A}{l_{ij}^2} \left[ (x_{ij}^2 - 1)(\xi_j - \xi_i) + x_{ij}y_{ij}(\eta_j - \eta_i) + z_{ij}x_{ij}(\zeta_j - \zeta_i) \right] \\
&\quad + \frac{2W_A}{l_{ij}} \left[ x_{pij} - (a_{ij} \cdot a_{pij})x_{ij} \right] \\
\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \eta_i} &= -\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \eta_j} = \frac{2W_A}{l_{ij}^2} \left[ x_{ij}y_{ij}(\xi_j - \xi_i) + (y_{ij}^2 - 1)(\eta_j - \eta_i) + y_{ij}z_{ij}(\zeta_j - \zeta_i) \right] \\
&\quad + \frac{2W_A}{l_{ij}} \left[ y_{pij} - (a_{ij} \cdot a_{pij})y_{ij} \right] \\
\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \zeta_i} &= -\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \zeta_j} = \frac{2W_A}{l_{ij}^2} \left[ z_{ij}x_{ij}(\xi_j - \xi_i) + y_{ij}z_{ij}(\eta_j - \eta_i) + (z_{ij}^2 - 1)(\zeta_j - \zeta_i) \right] \\
&\quad + \frac{2W_A}{l_{ij}} \left[ z_{pij} - (a_{ij} \cdot a_{pij})z_{ij} \right]
\end{aligned} \tag{31}$$

$$\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \rho_{ij}} = 0 \tag{32}$$

4.4.5 When NV pullerNV puller is made to act, make a skeleton model transform so that the square sum of the difference of the sense of the arc process line vector of each arc and an inside rate arc process line vector may become the minimum. By adding the degree type UN to the valuation plan Ue of a formula (13), this is realizable.

[0137]

[Equation 26]

$$U_N = \sum_{arc\ ij} U_{Nij} \tag{33}$$

$$U_{Nij} = W_N |n_{ij} + \Delta n_{ij} - n_{pij}|^2 \tag{34}$$

WN is a wait value (weighting factor) showing the strength of NV puller. Moreover, while receiving the normal vector nij (uij, vij, wuj) of an arc Aij, a rate arc process line vector is set to npij (upij, vpij, wpij). [0138] If it asks for the partial differential of UNij by xii, xij, etai, etaj, zetai, zetaj, and rhoij, it will become like a degree type.

[0139]

[Equation 27]

$$\begin{aligned}
\frac{\partial U_{Nij}}{\partial \xi_i} &= -\frac{\partial U_{Nij}}{\partial \xi_j} = -\frac{2W_N}{l_{ij}^2} u_{ij} \left[ u_{ij}(\xi_j - \xi_i) + v_{ij}(\eta_j - \eta_i) + w_{ij}(\zeta_j - \zeta_i) \right] - \frac{2W_N}{l_{ij}} u_{ij} (n_{pij} \cdot a_{ij}) \\
\frac{\partial U_{Nij}}{\partial \eta_i} &= -\frac{\partial U_{Nij}}{\partial \eta_j} = -\frac{2W_N}{l_{ij}^2} v_{ij} \left[ u_{ij}(\xi_j - \xi_i) + v_{ij}(\eta_j - \eta_i) + w_{ij}(\zeta_j - \zeta_i) \right] - \frac{2W_N}{l_{ij}} v_{ij} (n_{pij} \cdot a_{ij}) \\
\frac{\partial U_{Nij}}{\partial \zeta_i} &= -\frac{\partial U_{Nij}}{\partial \zeta_j} = -\frac{2W_N}{l_{ij}^2} w_{ij} \left[ u_{ij}(\xi_j - \xi_i) + v_{ij}(\eta_j - \eta_i) + w_{ij}(\zeta_j - \zeta_i) \right] - \frac{2W_N}{l_{ij}} w_{ij} (n_{pij} \cdot a_{ij})
\end{aligned} \tag{35}$$

$$\frac{\partial U_{Nij}}{\partial \rho_{ij}} = 2W_N (\rho_{ij} - n_{pij} \cdot s_{ij}) \tag{36}$$

5. The various operation gestalten of image generation equipment and an information storage which used the intermediate-frame configuration derivation approach of the skeleton model of this operation gestalt and the configuration deformation approach for image generation equipment, information storage drawing 18 (A), (B), and (C) are shown.

[0140] Drawing 18 (A) is the example which applied this operation gestalt to the configuration data origination tool which is one of the image generation equipment. The directions for creation of the configuration of the key frame of a skeleton model, assignment of a pass curve, etc. are performed using the mouse 202 which are a keyboard 200 and a pointing device. The processing section 210 contains the configuration data generation section 212 which performs configuration deformation of a skeleton model by the approach of this operation gestalt, and generates configuration data, and the image generation section 214 which compounds the image of a skeleton model based on the configuration data generated in this configuration data generation section 212. In hardware, if the processing sections 210 are CPU, DSP, memory, and the need, they are constituted by ASIC for image generation etc. Various information, such as data required for the configuration data origination program which realizes the approach of this operation gestalt, and this program execution, is stored in the information storage medium 216 which consists of FD, CD, a DVD, an IC card, memory, etc. The processing section 210 processes based on a keyboard 200, the input from a mouse 202, and the information stored in the information storage medium 216, and, thereby, skeleton model image 219 grade is displayed on a display 218. According to this configuration data origination tool, checking the configuration of the skeleton model image 219 displayed, configuration data can be created and the increase in efficiency of a design can be attained.

[0141] Drawing 18 (B) is the example which applied this operation gestalt to the game equipment which is one of the image generation equipment. The game controllers 220 and 222 are for a player to input actuation information. Including the game operation part 232 which performs the operation for compounding a game image based on the actuation information from a player etc., and the image generation section 234 which performs image generation based on the result of an operation from this game operation part 232, in hardware, if the processing sections 230 are CPU, DSP, memory, and the need, they are constituted by ASIC for image generation etc. The various information generated based on the configuration data created by the approach of this operation gestalt or this configuration data, a game program, etc. are stored in the information storage medium 236. On a display 238, the image 239 of the game character which operates based on the above-mentioned configuration data etc., and 240 grades are displayed. If game equipment is a business-use thing, it is stored in the information storage medium by which configuration data and a game program consist of semiconductor memory, a hard disk, etc., and if game equipment is a thing for home use, configuration data and a game program are stored in the information storage medium which consists of CD, DVD, a game cassette, etc. Moreover, two or more terminals are connected by the communication line through host equipment, and configuration data and a game program are stored in the information storage medium of host equipment, for example, a magnetic disk, CD and DVD, semiconductor memory, etc. in the game equipment of the type which rations a game program etc.

[0142] On the other hand, drawing 18 (C) is the example of game equipment in case the game operation part 242 contains the configuration data generation section 243. In this case, the configuration data generator which realizes the approach of this operation gestalt is stored in the information storage medium 246 instead of configuration data, and the configuration data generation section 243 built in game equipment carries out generation of configuration data to real time. For example, a player operates a request to a skeleton model by the game controller 220 and 222 grades. The images 239 and 240 of the object which moves along with a skeleton model by this will be displayed on a display 238.

[0143] In addition, what [ not only ] was explained with the above-mentioned operation gestalt but various deformation implementation is possible for this invention.

[0144] For example, although this operation gestalt explained the case where deformation by AV puller was performed after deformation by Node puller, in this invention, it may be made to perform deformation by Node puller after deformation by AV puller. For example, when an arc gives priority to

being suitable in the appointed direction over an assignment node passing along a pass curve top, it is more desirable than a thing to perform deformation by Node puller after deformation by AV puller. In this case, the direction which an arc turns to will be fixed by the technique of direction immobilization of an arc in which it explained with Section 4.3.

[0145] Moreover, the deformation by Nodes puller, AV puller, and NV puller has especially the desirable thing to realize by the technique (the technique of calculating the solution to while changing a basic type and a valuation plan based on given information) explained by drawing 13 (A) - drawing 13 (D). However, this invention is not limited to this but may be made to realize these deformation by another technique.

[0146] Moreover, the adaptation adjustable technique of the tension of the rubber band explained with Section 2.4 is widely applicable to the various rubber bands used for deformation of not only the rubber band in Node puller but a skeleton model. For example, the adaptation adjustable technique of the tension of a rubber band is applicable also to the rubber band used in the case of deformation of the skeleton model by mouse actuation of a user which is indicated by JP,10-208072,A.

[0147] Moreover, in the initial stage in the repeated calculation of the 1st deformation step, the example of application of the technique of performing the operation seasoned with the 2nd condition of the 2nd deformation step is not limited to the example of application (refer to drawing 12 ) which makes AV puller act on the initial stage of deformation by Node puller. For example, various examples of application, such as an example of application which makes Node puller act on the initial stage of deformation by AV puller, can be considered.

[0148]

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-132709

(P2000-132709A)

(43) 公開日 平成12年5月12日 (2000.5.12)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード (参考)

G 0 6 T 15/70

G 0 6 F 15/62

3 4 0 K

2 C 0 0 1

A 6 3 F 13/00

A 6 3 F 9/22

C

5 B 0 5 0

9 A 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数15 F D (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願平10-321272

(22) 出願日 平成10年10月26日 (1998. 10. 26)

(71) 出願人 000134855

株式会社ナムコ

東京都大田区多摩川2丁目8番5号

(72) 発明者 山口 兼太郎

東京都大田区多摩川2丁目8番5号 株式会社ナムコ内

(74) 代理人 100090387

弁理士 布施 行夫 (外2名)

Fターム (参考) 2C001 BC00 BC01 BC03 BC05 BC10

5B050 AA10 BA08 BA09 BA18 EA12

EA13 EA24 FA02

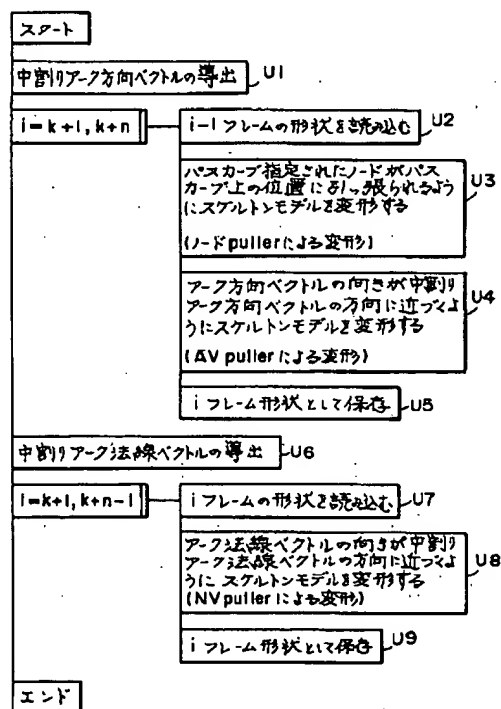
9A001 BZ04 GG12 HH24 HH29 HH30

(54) 【発明の名称】 スケルトンモデルの中間フレーム形状導出方法、スケルトンモデルの形状変形方法、画像生成装置及び情報記憶媒体

(57) 【要約】

【課題】 ノードの移動経路が指定されている場合にも滑らかに補間されたスケルトンモデルの中間フレーム形状を得ることができる方法の提供。

【解決手段】 パスカーブ指定されたノードがパスカーブ上の位置に引っ張られ、アーク方向ベクトルの向きが中割りアーク方向ベクトルの方向に近づき、アーク法線ベクトルの向きが中割りアーク法線ベクトルの方向に近づくようにスケルトンモデルを変形する。アーク方向ベクトルの方向と中割りアーク方向ベクトルの方向との差やアーク法線ベクトルの方向と中割りアーク法線ベクトルの方向との差を含む評価式が極小になるように基本変数の解を求める。パスカーブ指定されたノードにノードと制御点の距離に応じた張力 (ラバーバンド) を働かせると共に張力の総和が所与の値以下になる条件下でスケルトンモデルを変形する。ノードpullerによる変形の反復演算の初期段階においてAV pullerを作用させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 スケルトンモデルのキーフレームの形状から、スケルトンモデルの中間フレームの形状を導出する中間フレーム形状導出方法であって、移動経路が指定されたスケルトンモデルのノードが、該移動経路上の所与の位置に引っ張られるように、スケルトンモデルの形状を変形する第1の変形ステップと、スケルトンモデルのアーク方向ベクトルの向きが、キーフレームでのアーク方向ベクトルに基づき得られる中割りアーク方向ベクトルの方向に近づくように、スケルトンモデルの形状を変形する第2の変形ステップと、スケルトンモデルのアーク法線ベクトルの向きが、キーフレームでのアーク法線ベクトルに基づき得られる中割りアーク法線ベクトルの方向に近づくように、スケルトンモデルの形状を変形する第3の変形ステップとを含むことを特徴とするスケルトンモデルの中間フレーム形状導出方法。

【請求項2】 請求項1において、スケルトンモデルを、スケルトンモデルのノードの座標を含む基本変数により表し、スケルトンモデルのアークの長さが所与の値となることを規定する式を含み前記基本変数を未知数とする基本式と、前記基本式を満たす解を一意的に特定するための評価式の少なくとも一方を、所与の情報に基づいて変化させ、基本式をほぼ満たし且つスケルトンモデルのアーク方向ベクトルの方向と中割りアーク方向ベクトルの方向との差を含む評価式の値がほぼ極小、ほぼ極大及びほぼ停留のいずれかになるように基本変数の解を求め、求められた解に基づいてスケルトンモデルの形状を変形することを特徴とするスケルトンモデルの中間フレーム形状導出方法。

【請求項3】 請求項1又は2において、スケルトンモデルを、スケルトンモデルのノードの座標を含む基本変数により表し、スケルトンモデルのアークの長さが所与の値となることを規定する式を含み前記基本変数を未知数とする基本式と、前記基本式を満たす解を一意的に特定するための評価式の少なくとも一方を、所与の情報に基づいて変化させ、基本式をほぼ満たし且つスケルトンモデルのアーク法線ベクトルの方向と中割りアーク法線ベクトルの方向との差を含む評価式の値がほぼ極小、ほぼ極大及びほぼ停留のいずれかになるように基本変数の解を求め、求められた解に基づいてスケルトンモデルの形状を変形することを特徴とするスケルトンモデルの中間フレーム形状導出方法。

【請求項4】 請求項1乃至3のいずれかにおいて、移動経路が指定されたスケルトンモデルのノードの位置を制御するための制御点を用意し、

前記第1の変形ステップにおいて、

移動経路が指定されたスケルトンモデルの前記ノードと前記制御点との間に、該ノードと該制御点との距離に応じて変化する張力を働かせてスケルトンモデルの形状を変形することを特徴とするスケルトンモデルの中間フレーム形状導出方法。

【請求項5】 請求項1乃至4のいずれかにおいて、移動経路が指定されたスケルトンモデルの複数のノードの位置を制御するために、少なくとも1つの制御点を用意し、

前記第1の変形ステップにおいて、

移動経路が指定された前記複数のノードと前記少なくとも1つの制御点との間に、該複数のノードと該少なくとも1つの制御点との距離に応じて変化する張力を働かせると共に、該張力の総和が所与の値以下になるような条件の下でスケルトンモデルの形状を変形することを特徴とするスケルトンモデルの中間フレーム形状導出方法。

【請求項6】 請求項1乃至5のいずれかにおいて、前記第1の変形ステップの後に前記第2の変形ステップを行うと共に、

前記第1の変形ステップの第1の反復計算の初期段階において、スケルトンモデルのアーク方向ベクトルの向きを中割りアーク方向ベクトルの方向に近づける演算を行うことを特徴とするスケルトンモデルの中間フレーム形状導出方法。

【請求項7】 請求項1乃至5のいずれかにおいて、前記第2の変形ステップの後に前記第1の変形ステップを行うと共に、

前記第2の変形ステップの第2の反復計算の初期段階において、移動経路が指定されたスケルトンモデルのノードを、該移動経路上の所与の位置に引っ張る演算を行うことを特徴とするスケルトンモデルの中間フレーム形状導出方法。

【請求項8】 スケルトンモデルの形状変形方法であって、

スケルトンモデルの複数のノードの位置を制御するために、少なくとも1つの制御点を用意し、

スケルトンモデルの前記複数のノードと前記少なくとも1つの制御点との間に、該複数のノードと該少なくとも1つの制御点との距離に応じて変化する張力を働かせると共に、該張力の総和が所与の値以下になるような条件の下でスケルトンモデルの形状を変形することを特徴とするスケルトンモデルの形状変形方法。

【請求項9】 スケルトンモデルの形状変形方法であって、

所与の第1の条件に従った第1の反復計算によりスケルトンモデルの形状を変形する第1の変形ステップと、所与の第2の条件に従った第2の反復計算によりスケルトンモデルの形状を変形する第2の変形ステップとを含む、

前記第1の変形ステップの後に前記第2の変形ステップを行うと共に、

前記第1の変形ステップの前記第1の反復計算での初期段階において、前記第2の変形ステップの前記第2の条件が加味された演算を行うことを特徴とするスケルトンモデルの形状変形方法。

【請求項10】 請求項1乃至9のいずれかの方法により得られるスケルトンモデルの形状を出力する手段と、操作者がスケルトンモデルの形状の作成のための指示を行う操作手段とを含むことを特徴とする画像生成装置。

【請求項11】 請求項1乃至9のいずれかの方法により得られるスケルトンモデルに付随して動くオブジェクトの画像を出力する手段を含むことを特徴とする画像生成装置。

【請求項12】 コンピュータにより情報の読み取りが可能であり、請求項1乃至9のいずれかの方法により得られるスケルトンモデルの形状データを記憶することを特徴とする情報記憶媒体。

【請求項13】 コンピュータにより情報の読み取りが可能であり、スケルトンモデルのキーフレームの形状から、スケルトンモデルの中間フレームの形状を導出するための情報記憶媒体であって、

移動経路が指定されたスケルトンモデルのノードが、該移動経路上の所与の位置に引っ張られるように、スケルトンモデルの形状を変形する第1の変形ステップを行うための情報と、

スケルトンモデルのアーク方向ベクトルの向きが、キーフレームでのアーク方向ベクトルに基づき得られる中割りアーク方向ベクトルの方向に近づくように、スケルトンモデルの形状を変形する第2の変形ステップを行うための情報と、

スケルトンモデルのアーク法線ベクトルの向きが、キーフレームでのアーク法線ベクトルに基づき得られる中割りアーク法線ベクトルの方向に近づくように、スケルトンモデルの形状を変形する第3の変形ステップを行うための情報とを含むことを特徴とする情報記憶媒体。

【請求項14】 コンピュータにより情報の読み取りが可能であり、スケルトンモデルの形状変形のための情報記憶媒体であって、

スケルトンモデルの複数のノードの位置を制御するために、少なくとも1つの制御点を用意するための情報と、スケルトンモデルの前記複数のノードと前記少なくとも1つの制御点との間に、該複数のノードと該少なくとも1つの制御点との距離に応じて変化する張力を働かせると共に、該張力の総和が所与の値以下になるような条件の下でスケルトンモデルの形状を変形するための情報とを含むことを特徴とする情報記憶媒体。

【請求項15】 コンピュータにより情報の読み取りが可能であり、スケルトンモデルの形状変形のための情報記憶媒体であって、

所与の第1の条件に従った第1の反復計算によりスケルトンモデルの形状を変形する第1の変形ステップを行うための情報と、

所与の第2の条件に従った第2の反復計算によりスケルトンモデルの形状を変形する第2の変形ステップを行うための情報と、

前記第1の変形ステップの後に前記第2の変形ステップを行うと共に、前記第1の変形ステップの前記第1の反復計算での初期段階において、前記第2の変形ステップの前記第2の条件が加味された演算を行うための情報とを含むことを特徴とする情報記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はスケルトンモデルの中間フレーム形状導出方法、スケルトンモデルの形状変形方法、画像生成装置及び情報記憶媒体に関する。

【0002】

【背景技術及び発明が解決しようとする課題】コンピュータグラフィックス等の分野においては、人や動物等のキャラクタのモーション（アニメーション）を作成する際に、次のような手順が多く用いられる。

【0003】（D<sub>1</sub>）まず、図1（A）に示すようなスケルトンモデル10を用意する。なお、以下では、スケルトンモデル10の関節点12や端点14をノードと呼び、ノード同士を結ぶ骨16をアークと呼ぶことにする。

【0004】（D<sub>2</sub>）次に、図1（B）に示すように、スケルトンモデル10を変形してスケルトンモデルのキーフレームの形状20、22を作成する。

【0005】（D<sub>3</sub>）次に、図1（C）に示すように、キーフレームの形状20、22を補間して、スケルトンモデルの中間フレームの形状24を作成する。

【0006】さて、一般的な作業手順においては、上記の工程（D<sub>2</sub>）のキーフレームの形状20、22は、ユーザー（広義には操作者）がマウスやキーボード等の入力装置を用いて手作業で作成する。一方、工程（D<sub>3</sub>）の中間フレームの形状24は、プログラムが自動的に生成する。

【0007】また通常、工程（D<sub>3</sub>）の前に、ユーザーは、幾つかのノードに対して、ノードの固定あるいはパスカーブ（広義には移動経路）の指定を行う。

【0008】ここでノード固定とは、補間すべき2つのキーフレーム間の全ての中間フレームにおいて、そのノードを同じ位置に保つよう指示することである。このようなノード固定は、例えば、キャラクタの肩を固定しながら腕を振らす場合等に必要になる。

【0009】またパスカーブの指定とは、キーフレーム間で、そのノードが、指定されたパスカーブ上を動くよう指示することである。このパスカーブの指定は、単なる経路そのものの指定のみならず、キーフレーム間の各

中間フレームにおける、そのノード（パスカーブが指定されたノード）の位置を指定することに相当する。このようなパスカーブの指定は、例えば、キャラクタの手や足の先を、ユーザーの所望する軌道上で移動させたい場合等に必要になる。

【0010】図2(A)に示す例では、スケルトンモデル26は4個のノード $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $N_4$ と3本のアー  
ク $A_{12}$ 、 $A_{23}$ 、 $A_{34}$ から構成されている。各アー  
ク $A_{12}$ 、 $A_{23}$ 、 $A_{34}$ には、各アークの捻りの向きを表すた  
めに、アーク法線ベクトル $NV_{12}$ 、 $NV_{23}$ 、 $NV_{34}$ が付  
10 されている。これらの各アーク法線ベクトルは大きさが  
1で、各アークに垂直になっている。

【0011】この例では、スケルトンモデル26に対し  
て、2つのキーフレームの形状が用意されている。更  
に、ノード $N_1$ は固定され、ノード $N_4$ にはパスカーブ2  
8が指定されている。そして、このような指定がなされ  
ても、フレーム（キーフレーム） $f_0$ 、 $f_4$ の形状を滑ら  
かに補間し、図2(B)に示すような中間フレーム  
15  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ におけるスケルトンモデルの形状を生成  
することが望まれる。即ち、指定されたパスカーブ28  
上をノード $N_4$ が通りながらも、中間フレームにおける  
スケルトンモデルの形状も滑らかに変化することが望ま  
れる。

【0012】本発明は、以上のような技術的課題に鑑み  
てなされたものであり、その目的とするところは、ノー  
ドの移動経路が指定されている場合にも、滑らかに補間  
されたスケルトンモデルの中間フレーム形状を得ること  
ができるスケルトンモデルの中間フレーム形状導出方  
法、スケルトンモデルの形状変形方法、画像生成装置及  
び情報記憶媒体を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するた  
めに本発明は、スケルトンモデルのキーフレームの形状か  
ら、スケルトンモデルの中間フレームの形状を導出する  
中間フレーム形状導出方法であって、移動経路が指定さ  
れたスケルトンモデルのノードが、該移動経路上の所与  
の位置に引っ張られるように、スケルトンモデルの形状  
を変形する第1の変形ステップと、スケルトンモデルの  
アーク方向ベクトルの向きが、キーフレームでのアーク  
方向ベクトルに基づき得られる中割りアーク方向ベクト  
ルの方向に近づくように、スケルトンモデルの形状を変  
形する第2の変形ステップと、スケルトンモデルのアー  
ク法線ベクトルの向きが、キーフレームでのアーク法線  
ベクトルに基づき得られる中割りアーク法線ベクトルの  
方向に近づくように、スケルトンモデルの形状を変形す  
る第3の変形ステップとを含むことを特徴とする。

【0014】本発明では、第1の変形ステップにより、  
移動経路が指定されたノードが移動経路上の位置に引っ  
張られるようにスケルトンモデルが変形し、第2の変形  
ステップにより、アーク方向ベクトルの向きが中割りア

ーク方向ベクトルの方向に近づくようにスケルトンモデ  
ルが変形する。また、第3の変形ステップにより、アー  
ク法線ベクトルの向きが中割りアーク法線ベクトルの方  
向に近づくようにスケルトンモデルが変形する。従っ  
て、本発明によれば、移動経路が指定されたノードを移  
動経路上の位置に近づけながら、アーク方向ベクトルや  
アーク法線ベクトルの向きを中割りアーク方向ベクトル  
や中割りアーク法線ベクトルの方向に近づけることが可  
能になる。この結果、ノードの移動経路の指定と、スケ  
ルトンモデルの中間フレーム形状の滑らかな補間とを両  
立できるようになる。

【0015】なお、第1、第2、第3の変形ステップの  
順序は任意である。また、ノードの位置、アーク方向ベ  
クトルの向き、アーク法線ベクトルの向きは、各々、移  
動経路上の位置、中割りアーク方向ベクトルの方向、中  
割りアーク法線ベクトルの方向に少なくとも近づけばよ  
く、完全に一致する必要はない。また、中割りアーク方  
向ベクトル、中割りアーク法線ベクトルは、各々、キー  
フレームでのアーク方向ベクトル、アーク法線ベクトル  
を少なくとも用いて得ることができるものであればよ  
い。

【0016】また本発明は、スケルトンモデルを、スケ  
ルトンモデルのノードの座標を含む基本変数により表  
し、スケルトンモデルのアークの長さが所与の値となる  
ことを規定する式を含み前記基本変数を未知数とする基  
本式と、前記基本式を満たす解を一意的に特定するため  
の評価式の少なくとも一方を、所与の情報に基づいて変  
化させ、基本式をほぼ満たし且つスケルトンモデルのア  
ーク方向ベクトルの方向と中割りアーク方向ベクトルの  
方向との差を含む評価式の値がほぼ極小、ほぼ極大及び  
ほぼ停留のいずれかになるように基本変数の解を求め、  
求められた解に基づいてスケルトンモデルの形状を変形  
することを特徴とする。このようにすれば、アーク方向  
ベクトルの方向と中割りアーク方向ベクトルの方向との  
差を含む評価式をほぼ極小等にする条件の付加により、  
基本式を満たす解が一意的に特定され、スケルトンモデ  
ルの形状が決定される。従って、アーク方向ベクトルの  
向きを中割りアーク方向ベクトルの方向に近づけるよう  
なスケルトンモデルの変形を、簡易に実現できるように  
なる。

【0017】また本発明は、スケルトンモデルを、スケ  
ルトンモデルのノードの座標を含む基本変数により表  
し、スケルトンモデルのアークの長さが所与の値となる  
ことを規定する式を含み前記基本変数を未知数とする基  
本式と、前記基本式を満たす解を一意的に特定するため  
の評価式の少なくとも一方を、所与の情報に基づいて変  
化させ、基本式をほぼ満たし且つスケルトンモデルのア  
ーク法線ベクトルの方向と中割りアーク法線ベクトルの  
方向との差を含む評価式の値がほぼ極小、ほぼ極大及び  
ほぼ停留のいずれかになるように基本変数の解を求め、

求められた解に基づいてスケルトンモデルの形状を変形することとを特徴とする。このようにすれば、アーク法線ベクトルの方向と中割りアーク法線ベクトルの方向との差を含む評価式をほぼ極小等にする条件の付加により、基本式を満たす解が一意的に特定され、スケルトンモデルの形状が決定される。従って、アーク法線ベクトルの向きを中割りアーク法線ベクトルの方向に近づけるようなスケルトンモデルの変形を、簡易に実現できるようにする。

【0018】また本発明は、移動経路が指定されたスケルトンモデルのノードの位置を制御するための制御点を用意し、前記第1の変形ステップにおいて、移動経路が指定されたスケルトンモデルの前記ノードと前記制御点との間に、該ノードと該制御点との距離に応じて変化する張力を働かせてスケルトンモデルの形状を変形することとを特徴とする。このようにすれば、指定された移動経路上をノードが通ることが不可能な場合にも、計算に破綻が生じるのを回避できるようになる。

【0019】また本発明は、移動経路が指定されたスケルトンモデルの複数のノードの位置を制御するために、少なくとも1つの制御点を用意し、前記第1の変形ステップにおいて、移動経路が指定された前記複数のノードと前記少なくとも1つの制御点との間に、該複数のノードと該少なくとも1つの制御点との距離に応じて変化する張力を働かせると共に、該張力の総和が所与の値以下になるような条件の下でスケルトンモデルの形状を変形することとを特徴とする。このようにすれば、複数のノードが少なくとも1つの制御点により引っ張られることにより張力の総和が過大になりスケルトンモデルに暴れが生じてしまう事態を防止できる。そして更に、本発明によれば、各張力は、ノードと制御点との距離に応じた強さになる。従って、スケルトンモデルの形状に複数の釣り合い状態が生じてしまう事態も防止できる。

【0020】また本発明は、前記第1の変形ステップの後に前記第2の変形ステップを行うと共に、前記第1の変形ステップの第1の反復計算の初期段階において、スケルトンモデルのアーク方向ベクトルの向きを中割りアーク方向ベクトルの方向に近づける演算を行うことを特徴とする。このようにすれば、第1の変形ステップの第1の反復計算の初期段階において、第2の変形ステップでの変形に好適な形状にスケルトンモデルを変形することが可能になる。この結果、適正形状へのスケルトンモデルの変形が、第2の変形ステップにおいて不能になる事態を防止できる。

【0021】また本発明は、前記第2の変形ステップの後に前記第1の変形ステップを行うと共に、前記第2の変形ステップの第2の反復計算の初期段階において、移動経路が指定されたスケルトンモデルのノードを、該移動経路上の所与の位置に引っ張る演算を行うことを特徴とする。このようにすれば、第2の変形ステップの第2

の反復計算の初期段階において、第1の変形ステップでの変形に好適な形状にスケルトンモデルを変形することが可能になる。この結果、適正形状へのスケルトンモデルの変形が、第1の変形ステップにおいて不能になる事態を防止できる。

【0022】また本発明は、スケルトンモデルの形状変形方法であって、スケルトンモデルの複数のノードの位置を制御するために、少なくとも1つの制御点を用意し、スケルトンモデルの前記複数のノードと前記少なくとも1つの制御点との間に、該複数のノードと該少なくとも1つの制御点との距離に応じて変化する張力を働かせると共に、該張力の総和が所与の値以下になるような条件の下でスケルトンモデルの形状を変形することとを特徴とする。

【0023】本発明によれば、複数のノードが少なくとも1つの制御点により引っ張られることによりスケルトンモデルに暴れが生じてしまう事態を防止できると共に、スケルトンモデルの形状に複数の釣り合い状態が生じてしまう事態も防止できる。

【0024】また本発明は、スケルトンモデルの形状変形方法であって、所与の第1の条件に従った第1の反復計算によりスケルトンモデルの形状を変形する第1の変形ステップと、所与の第2の条件に従った第2の反復計算によりスケルトンモデルの形状を変形する第2の変形ステップとを含み、前記第1の変形ステップの後に前記第2の変形ステップを行うと共に、前記第1の変形ステップの前記第1の反復計算での初期段階において、前記第2の変形ステップの前記第2の条件が加味された演算を行うことを特徴とする。

【0025】本発明によれば、第1の変形ステップの第1の反復計算の初期段階において、第2の変形ステップでの変形に好適な形状にスケルトンモデルを変形することが可能になる。この結果、適正形状へのスケルトンモデルの変形が、第2の変形ステップにおいて不能になる事態を防止できる。

【0026】また本発明に係る画像生成装置は、上記のいずれかの方法により得られるスケルトンモデルの形状を出力する手段と、操作者がスケルトンモデルの形状の作成のための指示を行う操作手段とを含むことを特徴とする。これにより、本発明の方法を用いた形状データ作成ツール等の実現が可能となる。

【0027】また本発明に係る画像生成装置は、上記のいずれかの方法により得られるスケルトンモデルに付随して動くオブジェクトの画像を出力する手段を含むことを特徴とする。これにより、本発明の方法により得られた形状データを使用したゲーム装置等の実現が可能となる。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について、図面に基づいて詳細に説明する。

## 【0029】1. 比較例の説明

まず、本実施形態の比較例について説明する。

【0030】図2(B)に示すような中間フレーム $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ のスケルトンモデルの形状を求める比較例として、関節角補間を用いる手法とインバースキネマティクスを用いる手法が考えられる。

## 【0031】1.1 関節角補間

この比較例1では、スケルトンモデルの各関節角を補間して中間フレームの形状を求める。

【0032】図3(A)を例にとれば、キーフレーム $f_0$ でのアーク $A_{12}$ の関節角 $\theta_{10}$ と、キーフレーム $f_4$ でのアーク $A_{12}$ の関節角 $\theta_{14}$ とを補間し、中間フレーム $f_2$ での関節角 $\theta_{12}$ を求めている。より具体的には、 $\theta_{12} = (\theta_{10} + \theta_{14}) / 2$ としている。同様に、 $\theta_{20}$ と $\theta_{24}$ を補間することで $\theta_{22}$ を求め、 $\theta_{30}$ と $\theta_{34}$ を補間することで $\theta_{32}$ を求めている。

【0033】しかしながら、この比較例1では、ノード $N_4$ が、指定されたパスカーブ28上を移動しなくなる。即ち、ノード $N_4$ は、パスカーブ28上の位置30ではなく、位置32を通るようになる。従って、中間フレームの形状を滑らかに変化させることはできるが、ノード $N_4$ をパスカーブ28上で移動させたいというユーザーの要望には応えることができない。

## 【0034】1.2 インバースキネマティクス

この比較例2では、固定されたノードをルートとし、パスカーブが指定されたノードをエフェクタとして、インバースキネマティクスを用いて中間フレームの形状を求める。図3(B)を例にとれば、固定ノード $N_1$ がルートになり、パスカーブ28が指定されたノード $N_4$ がエフェクタになる。そして、ノード $N_4$ をつまんでパスカーブ28に沿って動かしながら、中間フレームでのスケルトンモデルの形状をインバースキネマティクスにより求める。

【0035】しかしながら、この比較例2では、インバースキネマティクスにより得られたフレーム $f_4$ での形状34が、本来のキーフレームでの形状36とは異なったものになってしまう。従って、ノード $N_4$ をパスカーブ28上で移動させることはできるが、キーフレームの形状を所望の形状にしたいというユーザーの要望には応えることができない。

【0036】以上のような比較例1、2の問題を解決するために、本実施形態では、以下のような手法によりスケルトンモデルの中間フレーム形状を導出している。

## 【0037】2. 本実施形態の概要

## 2.1 前提条件

まず、ユーザーが次のような手順でキャラクタのモーション(アニメーション)を作成するものとする。即ち、まず、ユーザーは、キャラクタの幾つかのポーズを作成し、これをキーフレームとして登録する。次に、幾つかのノードに対して、キーフレーム間のパスカーブ(広義

には移動経路)を指定する。このパスカーブの指定により、キーフレーム間の各中間フレームにおけるノードの位置が指定されることになる。なお、中間フレームにおけるノードの位置は、ユーザーが明示的に指定するようにしてもよいし、ユーザーが指定したパスカーブやユーザーが指定したノードの移動速度に基づき、プログラムが計算により求めるようにしてもよい。

【0038】さて、ユーザーがキャラクタのモーションを作成する際に、あるキーフレームから次のキーフレームまでの間、ノードの位置を固定したい場合がある。このようなノードの固定は、パスカーブが直線であって、しかもそのパスカーブの始点と終点が一致している場合として捉えることができる。

【0039】そこで、本実施形態では、ノードの固定をパスカーブの指定により行うようにしている。即ち、ユーザーは、ノードを固定したい場合には、始点と終点とが一致する直線のパスカーブをそのノードに指定することになる。このようにすれば、パスカーブ指定の他に、ノード固定の指定というユーザーインターフェースを別に設ける必要がなくなる。これにより、ユーザーの矛盾したノード固定指定により計算が破綻する等の事態を防止できる。

【0040】さて、本実施形態では、次の2つの要件を満たし、キーフレーム間を滑らかに補間するような中間フレームを生成することを目指している。

【0041】第1に、出来上がったスケルトンモデルのモーションは、キーフレームのポーズを必ず通るようにする。但し、スケルトンモデルがポリゴンオブジェクトと干渉する場合は、この限りでない。

【0042】第2に、パスカーブが指定されたノードは、形状的に不可能な場合を除き、必ず指定された通りの動きをするようにする。ここで、形状的に不可能とは、アークの長さ、関節角の可動範囲、ポリゴンオブジェクトとの干渉等の制約により、指定されたパスカーブ上をノードが移動することが不可能な状態を言う。

## 【0043】2.2 3ステップのpullerによる中間フレーム形状の導出方法

本実施形態では、3ステップのpullerにより、スケルトンモデルの中間フレームの形状を導出している。この導出方法を、図4のPAD(Program Analysis Diagram)を用いて詳細に説明する。

【0044】なお、以下の説明では、補間すべき2つのキーフレームを、第 $k$ フレーム、第 $k+n$ フレームとする。また、これらのキーフレームでのスケルトンモデルの形状を補間し、中間フレームである第 $k+1 \sim k+n-1$ フレームでの形状を導出するものとする。

## 【0045】2.2.1 中割りアーク方向ベクトルの導出

まず、スケルトンモデルの各アークについて、中割りアーク方向ベクトルを導出する(図4のステップU1)。

より具体的には、第 $k$ フレームのアーク方向ベクトルの向きと、第 $k+n$ フレームのアーク方向ベクトルの向きとを均等に中割りし、第 $k+1$ ～第 $k+n-1$ フレーム用の中割りアーク方向ベクトルを求める。

【0046】なおアークの一端から他端に向かう単位ベクトルをアーク方向ベクトルと呼ぶことにする。中割りアーク方向ベクトルとは、キーフレームでのアーク方向ベクトルの向きを均等に中割りしたものである。

【0047】図5のアーク $A_{12}$ を例にとれば、キーフレーム $f_0$ でのアーク方向ベクトル40の向きと、キーフレーム $f_4$ でのアーク方向ベクトル42の向きを4等分することで、中割りアーク方向ベクトルが導出される。アーク $A_{23}$ 、 $A_{34}$ についての中割りアーク方向ベクトルも同様にして導出される。

【0048】導出された中割りアーク方向ベクトルは、後述するように、中間フレームの形状導出の際のStep2で使用される。

【0049】2.2.2 ノードpuller、AV pullerによる変形

中割りアーク方向ベクトルの導出後、以下の手順で、第 $k+1$ フレームから第 $k+n$ フレームまでのスケルトンモデルの形状を順次導出する。即ち、 $i-1$ フレームのスケルトンモデルの形状（1フレーム前の形状）を読み込み（図4のステップU2）、次の2ステップ（Step1、Step2）の変形を行い（ステップU3、U4）、 $i$ フレームの形状として保存する（ステップU5）。

【0050】Step1：パスカーブが指定されていないノードを非固定にし、パスカーブが指定されたノードをパスカーブ上の所与の位置に引っ張り、計算が収束するまでスケルトンモデルを変形させる（図4のステップU3）。このStep1でノードに作用させる引っ張りを、ノードpullerと呼ぶことにする。

【0051】例えば図6には、キーフレーム $f_0$ の形状に対してノードpullerを作用させ、フレーム $f_1$ の形状を導出する過程が示されている。図6では、ノード $N_2$ 、 $N_3$ は非固定になっており、ノード $N_1$ 、 $N_4$ に対してノードpullerを作用させている。ここでノード $N_4$ はパスカーブが指定されたノードである。ノード $N_4$ は、このノードpullerにより、パスカーブ上の位置44に引っ張られることになる。一方、ノード $N_1$ は固定ノードである。固定ノード $N_1$ については、前述のように、始点と終点一致した直線のパスカーブ指定がなされたとして取り扱う。即ち、ノード $N_1$ に作用するノードpullerは初期状態において長さが0になる。

【0052】Step2：パスカーブが指定されたノードをStep1終了時の位置に固定し、パスカーブが指定されていないノードは非固定のままにする。そして、アーク方向ベクトルの向きが、それぞれの中割りアーク方向ベクトルの方向になるべく近づくような捻りを作用させ、計算が収束するまでスケルトンモデルを変形させる（図4の

ステップU4）。このアークに作用させる捻りを、AV puller (arc vector puller)と呼ぶことにする。

【0053】例えば図7では、ノード $N_1$ 、 $N_4$ を固定し、ノード $N_2$ 、 $N_3$ を非固定にして、AV pullerを作用させている。これにより、アーク $A_{12}$ 、 $A_{23}$ 、 $A_{34}$ （アーク方向ベクトル）の向きが、各々、中割りアーク方向ベクトル46、48、50の方向に近づくように、スケルトンモデルが変形されることになる。

【0054】なお、ノードpuller、AV pullerによるスケルトンモデルの変形は、例えば、本出願人により出願された特開平10-208072の手法によるインバースキネマティクスにより実現できる。

【0055】また、各アーク方向ベクトルの方向と各中割りアーク方向ベクトルの方向とは、一般的には完全には一致しない。例えば図7では、ノード $N_1$ 、 $N_4$ は固定されており、このような条件の下で各アーク方向ベクトルの方向と各中割りアーク方向ベクトルの方向を完全に一致させることは、幾何学的には不可能な場合が多いからである。しかしながら、ノードpuller、AV pullerによる変形を、特開平10-208072に示されるようなインバースキネマティクスを用いて行えば、中間フレームの形状を滑らかに変化させることは可能になる。

【0056】以上のノードpuller、AV pullerによる変形処理（図4のステップU2～U5）が、 $i=k+1$ から $i=k+n$ になるまで繰り返され、第 $k$ フレームの形状から第 $k+1$ フレームの形状、第 $k+1$ フレームの形状から第 $k+2$ フレームの形状、第 $k+2$ フレームの形状から第 $k+3$ フレームの形状、第 $k+3$ フレームの形状から第 $k+4$ フレームの形状というように、スケルトンモデルの形状が順次導出される。そして第 $k+n$ フレームのスケルトンモデルの形状が導出されると、各アーク法線ベクトルの向きの修正処理が行われる。

【0057】即ち、ノードpuller、AV pullerによる変形により最終的に得られた第 $k+n$ フレームでのアーク法線ベクトルの向きは、キーフレームとして登録した時の向きとは異なっている。

【0058】図8（A）を例にとれば、ノードpuller、AV pullerによる変形により得られたフレーム $f_4$ （第 $k+n$ フレーム）のアーク法線ベクトル52の向きは、キーフレームとして登録した時のアーク法線ベクトル54の向きとは異なっている。そこで、アークの法線ベクトル52の向きの修正処理が必要になる。

【0059】2.2.3 中割りアーク法線ベクトルの導出

まず、スケルトンモデルの各アークについて、中割りアーク法線ベクトルを導出する（図4のステップU6）。

【0060】より具体的には、ノードpuller、AV pullerによる変形により最終的に得られた第 $k+n$ フレームのアーク法線ベクトルと、キーフレーム登録時の第 $k$ フレームのアーク法線ベクトルとを比較し、そのアーク方向

## 13

ベクトル回りの回転角度 $\phi_{NV}$ を求める。図8(A)を例にとれば、アーク法線ベクトル52から54への、アーク方向ベクトル回りの回転角度 $\phi_{NV}$ を求める。

【0061】次に、この $\phi_{NV}$ をフレーム数 $n$ で均等割りする。そして、各フレームのアーク法線ベクトルを、そのアークのアーク方向ベクトル回りに捻ったものを中割りアーク法線ベクトルとする。即ち、第 $k+i$ フレームでは、アーク法線ベクトルを $\phi_{NV} \cdot i/n$ だけ捻ったものが中割りアーク法線ベクトルとなる。

【0062】図8(B)を例にとれば、フレーム $f_1$ では、アーク法線ベクトル56を $\phi_{NV}/4$ だけアーク方向ベクトル回りに捻ったものが中割りアーク法線ベクトル58になる。一方、フレーム $f_2$ では $\phi_{NV}/2$ 、フレーム $f_3$ では $3\phi_{NV}/4$ だけ、アーク法線ベクトルを捻ったものが中割りアーク法線ベクトルになる。

【0063】なお、アーク法線ベクトルはアーク方向ベクトルに直交し、中割りアーク法線ベクトルは、アーク法線ベクトルをアーク方向ベクトル回りに所与の角度だけ回転させたものである。従って、中割りアーク法線ベクトルもアーク方向ベクトルに直交し、アークの法線ベクトルとしての要件を満たすことになる。

【0064】2.2.4 NV pullerによる変形  
中割りアーク法線ベクトルの導出後、以下の手順で、第 $k+1$ フレームから第 $k+n-1$ フレームまでのスケルトンモデルの形状を順次修正する。即ち、 $i$ フレームのスケルトンモデルの形状を読み込み(図4のステップU7)、次のStep3の変形を行い(ステップU8)、 $i$ フレームの形状として保存する(ステップU9)。

【0065】Step3: 全てのノードを固定する。そして、アーク法線ベクトルの向きが、当該フレームのそれぞれの中割りアーク法線ベクトルの方向になるべく近づくような捻りを作用させ、計算が収束するまでスケルトンを変形させる(図4のステップU8)。このアーク法線ベクトルに作用させる捻りを、NV puller (normal vector puller)と呼ぶことにする。このNV pullerによる変形処理(図4のステップU7~U9)が、 $i=k+1$ から $i=k+n-1$ になるまで繰り返され、第 $k+1$ フレームから第 $k+n-1$ フレームまでのスケルトンモデルのアーク法線ベクトルの向きが順次修正される。

【0066】図8(B)を例にとれば、フレーム $f_1$ では、アーク $A_{12}$ のアーク法線ベクトル56の向きを、中割りアーク法線ベクトル58の方向に近づけるNV pullerを作用させる。フレーム $f_2$ 、 $f_3$ 、 $f_4$ についても同様である。例えばフレーム $f_4$ では、図8(A)において、アーク法線ベクトル52の向きを、中割りアーク法線ベクトル54の向きになるべく近づけるNV pullerが作用する。これにより、アーク法線ベクトル52の向きが、キーフレーム登録時のアーク法線ベクトル(中割りアーク法線ベクトル)54の向きと異なってしまうという事態を解消できる。

## 14

【0067】以上のように、ノードpuller、AV puller、NV pullerの3ステップのpullerを順次作用させ中間フレームの形状を導出することで、前述の2.1の2つの要件(出来上がったスケルトンモデルのモーションは、キーフレームのポーズを必ず通り、パスカーブが指定されたノードは、形状的に不可能な場合を除き、必ず指定された通りの動きをするようにする)を満足するキーフレーム補間を実現できるようになる。

【0068】2.3 ラバーバンドによるノードpuller  
本実施形態では、上述のStep1のノードpullerとして、特開平10-208072に開示されるラバーバンドの手法を用いている。

【0069】図9(A)を例にとれば、パスカーブが指定されたノード $N_4$ はノードpuller、即ちラバーバンド62によりパスカーブ上の位置(制御点)60に引っ張られる。ここで、ラバーバンド62は根と先を持ち、ラバーバンド62の根は制御点60と共に動き、ラバーバンド62の先はノード $N_4$ に固定されたままになる。ラバーバンド62は縮もうとする性質を有し、ノード $N_4$ と制御点60との間には、例えば、ノード $N_4$ と制御点60との距離に応じて変化する張力(距離を極小にしようとする力)が働くことになる。この張力により、図9(A)に示すように、ノード $N_4$ が制御点60の方に引っ張られ、スケルトンモデルが変形することになる。

【0070】ノードpullerとしてラバーバンドを用いることで次のような利点を得ることができる。例えばユーザーが図9(B)に示すようなパスカーブ64を指定した場合、フレーム $f_2$ において、ノード $N_4$ をパスカーブ64上の位置66に移動させることは不可能である。このような場合にラバーバンドを用いないと、計算が破綻してしまう。しかしながら、ラバーバンド68を用いてフレーム $f_2$ のノード $N_4$ を、制御点である位置66に引っ張るようにすれば、上記のような計算の破綻を回避できるようになる。

【0071】2.4 ラバーバンドの張力の適応可変  
本実施形態では、複数のノードに対してパスカーブの指定が可能である。例えば図10(A)に示すように、2つのノード $N_4$ 、 $N_5$ にパスカーブが指定された場合には、これらの2つのノード $N_4$ 、 $N_5$ の位置を制御するための2つの制御点70、72が用意される。そして、ノード $N_4$ 、 $N_5$ と制御点70、72の間にはラバーバンド74、76が作用する。

【0072】このように、本実施形態では、複数のノードに複数のラバーバンドが作用する場合がある。

【0073】ラバーバンドの張力が強くなると、スケルトンモデルに暴れが生じやすくなるが、この暴れは、ラバーバンドの張力に上限を設けることである程度解消できる。しかしながら、上記のように複数のノードに複数のラバーバンドが作用すると(スケルトンモデルに複数のラバーバンドが作用すると)、ラバーバンドの張力に

上限を設けただけでは、次のような問題が生じてしまう。

【0074】例えば図10(A)のように、ラバーバンド74、76によりノード $N_4$ 、 $N_5$ が同一方向に引っ張られると、個々のラバーバンド74、76の張力は小さくても、全ラバーバンドの張力の総和は大きくなる。このため、各ラバーバンド74、76の張力に上限を設けても、スケルトンモデルに暴れが生じてしまう。

【0075】また、図10(B)に示すように、ノード $N_1$ 、 $N_3$ に対してパスカーブ78、80が指定され、中間フレーム $f_2$ において、ラバーバンド82、84が伸びたまた釣り合い状態になった場合を考える。この場合、ラバーバンド82、84の張力に単に上限を設けただけでは、図10(B)、(C)、(D)の全ての状態が釣り合い状態になる。ラバーバンドは、その長さが例えば $l_r$ の時に張力が上限になり、図10(B)、(C)、(D)の全ての場合において、ラバーバンド82、84の張力は上限に達しており等しくなっているからである。即ち、ユーザーにとっては図10(B)の釣り合い状態が最も望ましいのに、図10(C)、(D)のように釣り合い状態になってしまう可能性がある。

【0076】そこで、本実施形態では、このように複数のノードと複数(1つでもよい)の制御点との間に複数の張力(ラバーバンド)が働く場合に、ノードと制御点との間にその距離に応じた張力を働かせると共に、その張力の総和が所与の値以下になるような条件の下でスケルトンモデルを変形している。

【0077】本実施形態によれば、図10(A)のように複数のノード $N_4$ 、 $N_5$ に対して複数のラバーバンド74、76による張力が働いても、これらの張力の総和は所与の値以下になる。従って、スケルトンモデルに暴れが生じる事態を回避できる。また、各張力は、固有の上限値を持たず、ノードと制御点との距離に応じてその強さが変化する。従って、図10(C)、(D)のような釣り合い状態になる事態も回避できる。図10(C)ではラバーバンド82よりも84の張力が強くなり、図10(D)ではラバーバンド84よりも82の張力が強くなり、共に釣り合い状態が崩れるからである。

【0078】2.5 Step1におけるAV pullerの追加  
図11(A)のように、フレーム(キーフレーム) $f_0$ 、 $f_4$ を補間する場合において、ノード $N_4$ に対して86に示すようなパスカーブ指定がなされたとする。この場合、フレーム $f_1$ におけるスケルトンモデルの形状は、本来、図11(B)に示す形状87になるべきである。

【0079】しかしながら、図11(C)において、フレーム $f_0$ のスケルトンモデルの形状に対して上述したStep1のノードpullerのみを作用させると、スケルトンモデルの形状は、図11(C)の形状88、90のいずれに変形するかは不定となる。この場合、形状88に変形

すれば問題は生じない。しかし、形状90に変形してしまった場合には、その後のStep2においてAV pullerを作用させても、アーク $A_{12}$ に作用するAV pullerとアーク $A_{34}$ に作用するAV pullerとが互いに釣り合ってしまう。このため、形状90は、それ以上変形せず、図11(B)の本来の形状87に到達できなくなってしまう。

【0080】そこで、本実施形態では、図4のステップU3を、図12のPADに示すように修正し、Step1の反復計算の第1のループ(広義には反復計算の初期段階)においては、ノードpullerだけでなく、AV pullerも同時に作用させてスケルトンモデルを変形している(ステップV1)。即ち、反復計算の第1のループにおいて、パスカーブが指定されたノードをパスカーブ上の所与の位置に引っ張る演算のみならず、アーク法線ベクトルの向きを中割りアーク方向ベクトルの方向に近づける演算も行う。一方、第2のループ以降は、ノードpullerのみを作用させて、計算が収束するまでスケルトンモデルを変形している(ステップV2)。

【0081】以上のようにすることで、フレーム $f_1$ でのスケルトンモデルの形状を、図11(B)の本来の形状87にすることが可能になる。

【0082】なお、図12では、第1のループにおいてのみ、ノードpuller及びAV pullerの両方を作用させているが、例えば第2、第3のループ等においても、ノードpuller及びAV pullerの両方を作用させてもよい。また、第1のループではノードpullerのみを作用させて、第2のループでノードpuller及びAV pullerの両方を作用させることも可能である。

【0083】3. スケルトンモデルの形状変形方法  
ノードpuller、AV puller、NV pullerによるスケルトンモデルの変形の際には、例えば特開平10-208072に開示されたスケルトンモデルの形状変形方法を用いることができる。以下、このスケルトンモデルの形状変形方法について簡単に説明する。

#### 【0084】3.1 基本原理

本実施形態の形状変形方法では、図13(A)に示すように、スケルトンモデル118を表す基本変数として、ノード102、103、104の座標( $x$ 、 $y$ 、 $z$ )、アーク106、107、108に垂直なアーク法線ベクトル110、111、112の成分( $u$ 、 $v$ 、 $w$ )を使用する。このように、基本変数としてノード座標、アーク法線ベクトルを用いることで、全てのノード、アークを対等なものとして扱うことが可能となる。なお、アーク法線ベクトルを他の変数で代替えることも可能である。

【0085】次に図13(B)に示すように、上記基本変数を未知数とする基本式として、アークの長さが所与の値となることを規定する式、アーク法線ベクトルの長さが所与の値となることを規定する式、アーク法線ベクトルがアークに垂直になることを規定する式を用意す

る。なお例えば基本式  $g=0$ 、 $h=0$  を他の式で代替することも可能である。

【0086】ここで図13(B)に示す基本式は非線形となる。そこで本実施形態ではニュートン法等の反復計算法により解を求める。このようにニュートン法等を用いることで、基本式を、基本変数の変化量の1次式で表すことが可能となる。これにより解くべき連立方程式は図13(C)に示すものになる。

【0087】しかしながら図13(C)の式では、変数の数が式の数よりも多い。そこで本実施形態では、基本式を満たす解を一意的に特定するための評価式を用意する。そして評価式の値をほぼ極小、ほぼ極大及びほぼ停留のいずれかにするという条件を付加し、ラグランジュの乗数法を適用して基本変数の解を求める。ラグランジュの乗数法を用いることで、解くべき式は図13(D)のようになり、変数の数が式の数と一致するため、解を一意的に定めることが可能となる。

【0088】なお本実施形態では、パスカーブ上の所与の位置の座標、中割りアーク方向ベクトル、中割りアーク法線ベクトルなどの所与の情報に基づいてスケルトンモデルを変形させる。この時、上記所与の情報に基づいて基本式、評価式が変化する。具体的には、上記所与の情報に基づいて基本式や評価式に含まれる既知数、式自体の形が変化し、これによりスケルトンモデルの形状が変形することになる。

【0089】3.2 アーク法線ベクトルの変化量の一次近似

さて本実施形態では、図14(A)に示すように、アーク法線ベクトル  $\mathbf{n}(u, v, w)$  の変化量を、所与の1つの変数である  $\rho$  により表して基本変数の解を求めている。より具体的には、アーク法線ベクトル  $\mathbf{n}$  の変化量を、変数  $\rho$  の一次式で近似する。アーク法線ベクトル  $\mathbf{n}$  は  $u, v, w$  の3変数で表されるが、図14(A)に示すように  $\mathbf{n}$  はアーク150に垂直且つ大きさが一定であ

るため、実際には  $\mathbf{n}$  の自由度は1である。従って  $\mathbf{n}$  の変化量も1つの変数  $\rho$  で表すことが可能であり、これにより解くべき基本変数の数を減らすことができ、処理の高速化を図れる。

【0090】3.3 評価式

また本実施形態では好ましいスケルトンモデルの変形を得るために、アーク間角度の変化量、ノードと所与の制御点との間の距離、端部に固定ノードを持つアークの向きの変化量、ノード座標の変化量及びノード座標の速度変化量等を評価式に含ませている。より具体的には、図14(B)に示すように評価式に種々の条件を加えている。例えば評価式にアーク間角度の変化量を含ませ、アーク間角度の変化量の2乗和を極小化等することにより、ある1組のアーク間だけが突出して曲がる等の事態を防止し、アーク間の曲げを全体的にバランスの良いものにすることができる。また評価式にノードと所与の制御点との間の距離を含ませることで、ラバーバンドを実現できる。また端部に固定ノードを持つアークの向きの変化量、ノード座標の変化量を評価式に含ませ、固定ノード回りのアーク回転ダンパー、ノードダンパー等を設定することで、解が不定になることを防止できる。またノード座標の変化量、ノード座標の速度変化量を評価式に含ませ、ノードダンパー、ノードイナーシャを設定することで、計算の収束が安定しないことに起因するアークの暴れを防止できる。

【0091】4. 詳細なアルゴリズム

次に本実施形態の詳細なアルゴリズムの例について説明する。なお以下の説明において使用される総和符号の意味は下記の通りである。なお下記において、アーク間の角度をアングルと呼び、アングルを構成する2本のアーク及びその端点である3つのノードをアングルの構成要素と呼ぶ。

【0092】

【数1】

$$\begin{aligned}
& \sum_{node\ i}^{19} X_i : \text{すべてのノードについて } X \text{ の総和をとる。} \\
& \sum_{node\ i}^{N_i|C} X_i : \text{条件 } C \text{ を満たすノードについて } X \text{ の総和をとる。} \\
& \sum_{arc\ ij} X_{ij} : \text{すべてのアークについて } X \text{ の総和をとる。} \\
& \sum_{arc\ ij}^{A_{ij}|C} X_{ij} : \text{条件 } C \text{ を満たすアークについて } X \text{ の総和をとる。} \\
& \sum_{ang} X : \text{すべての重み付けされたアングルについて } X \text{ の総和をとる。} \\
& \sum_{arc\ ij}^{node\ i} X_{ij} : \text{ノード } N_i \text{ の周りのアークについて } X \text{ の総和をとる。} \\
& \sum_{ang}^{N_i\ eang} X : \text{ノード } N_i \text{ を構成要素とするすべてのアングルについて、} X \text{ の総和をとる。} \\
& \sum_{ang}^{A_{ij}\ eang} X : \text{アーク } A_{ij} \text{ を構成要素とするすべてのアングルについて、} X \text{ の総和をとる。} \\
& \sum_{node\ i}^{N_i\ eang} X_i : \text{アングルの構成要素であるノード (3個) について、} X \text{ の総和をとる。} \\
& \sum_{arc\ ij}^{A_{ij}\ eang} X_{ij} : \text{アングルの構成要素であるアーク (2本) について、} X \text{ の総和をとる。}
\end{aligned}$$

また添え字の順序と符号との関係は以下の通りである。 \* 【数2】

【0093】

$$\begin{aligned}
& L_{ij} = L_{ji}, \quad l_{ij} = l_{ji} \\
& n_{ij} = n_{ji}, \quad u_{ij} = u_{ji}, \quad v_{ij} = v_{ji}, \quad w_{ij} = w_{ji} \\
& a_{ij} = -a_{ji}, \quad x_{ij} = -x_{ji}, \quad y_{ij} = -y_{ji}, \quad z_{ij} = -z_{ji}, \quad b_{ij} = -b_{ji} \\
& s_{ij} = -s_{ji}, \quad s_{xij} = -s_{xji}, \quad s_{yij} = -s_{yji}, \quad s_{zij} = -s_{zji} \\
& \rho_{ij} = -\rho_{ji} \\
& f_{ij} = f_{ji}, \quad F_{ij} = F_{ji}, \quad \alpha_{ij} = \alpha_{ji}
\end{aligned}$$

#### 4.1 基本式

図15において、ノード $N_i$ の座標を $(x_i, y_i, z_i)$ とする。またアークには、3次元空間内での回転を表すために、アーク法線ベクトルを設ける。アーク $A_{ij}$  (ノード $N_i$ 、ノード $N_j$ を結ぶアーク) の法線ベクトルを $n_{ij}$  ※40

※ $ij$  ( $u_{ij}$ 、 $v_{ij}$ 、 $w_{ij}$ ) とする。本実施形態では、これらの基本変数を用いてスケルトンモデルの形状を表す。アークごとに次の基本式が成り立つ。

【0094】

【数3】

$$f_{ij} \equiv \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2} - L_{ij} = 0 \quad (1)$$

$$g_{ij} \equiv u_{ij}^2 + v_{ij}^2 + w_{ij}^2 - 1 = 0 \quad (2)$$

$$h_{ij} \equiv (x_j - x_i)u_{ij} + (y_j - y_i)v_{ij} + (z_j - z_i)w_{ij} = 0 \quad (3)$$

式(1)は、アーク $A_{ij}$ の長さが $L_{ij}$ であることを意味する。式(2)は、法線ベクトルの大きさが1であることを意味する。式(3)は、アーク法線ベクトルとアークが垂直であることを意味する。

21

## 【0095】4.2 基本式の解法

式(1)(2)(3)は非線形方程式であり、また式の数が増える数より少ない。そこで、ニュートン法とラグランジュの乗数法を組み合わせることにする。

【0096】なお、特に指示する必要のない場合は、変数の添え字を省略して表記する。

$$\xi_i \equiv \Delta x_i, \quad \eta_i \equiv \Delta y_i, \quad \zeta_i \equiv \Delta z_i \quad (4)$$

上記の基本式(1)にニュートン法を適用すると、次式が得られる。

$$\sum_{\text{node } k} \left( \frac{\partial f_{ij}}{\partial x_k} \xi_k + \frac{\partial f_{ij}}{\partial y_k} \eta_k + \frac{\partial f_{ij}}{\partial z_k} \zeta_k \right) + f_{ij} = 0 \quad (5)$$

これを整理すると、次式になる。

【0100】

$$F_{ij} = [(x_j - x_i)(\xi_j - \xi_i) + (y_j - y_i)(\eta_j - \eta_i) + (z_j - z_i)(\zeta_j - \zeta_i) + l_{ij}(l_{ij} - L_{ij})] / \lambda^2 = 0 \quad (6)$$

$l_{ij}$ はアーク長さの現在値で、次式で表される。計算が収束した状態では、 $l_{ij} = L_{ij}$ となる。

$$l_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2} \quad (7)$$

また、 $\lambda$ はスケールファクターである。 $\lambda$ の値としては、次式のようにアーク長 $L_{ij}$ の平均値を用いることにする。なお $N_{\text{arc}}$ は、スケルトンを構成するアークの本

◆数である。

【0102】

【数8】

$$\lambda = \frac{1}{N_{\text{arc}}} \sum_{\text{arc } ij} L_{ij} \quad (8)$$

式(2)、(3)及び変数 $u$ 、 $v$ 、 $w$ については、解くべき方程式の未知数を減らすために、ニュートン法を使わず、以下に述べる1変数 $\rho$ による1次近似を用いる。

【0103】4.2.2 アーク法線ベクトル変化量の1次近似

アーク法線ベクトル $n_{ij}$ はアーク $A_{ij}$ に垂直で、大きさ1であるため、成分 $u_{ij}$ 、 $v_{ij}$ 、 $w_{ij}$ は、3変数でありながら、図14(A)に示すように変化の自由度は1で

\*ある。そこで、解くべき方程式の未知数を減らすために、1変数による1次近似を行う。

【0104】図15に示すように、アークの始点ノード $N_i$ から終点ノード $N_j$ に向かう単位ベクトルを、アーク方向ベクトル $a_{ij}$ と定義する。また、同図に示すようにアーク $A_{ij}$ 上にベクトル $s_{ij}$ を作る。

【0105】

【数9】

$$a_{ij} \equiv (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$$

$$x_{ij} \equiv (x_j - x_i) / l_{ij}, \quad y_{ij} \equiv (y_j - y_i) / l_{ij}, \quad z_{ij} \equiv (z_j - z_i) / l_{ij} \quad (9)$$

$$s_{ij} \equiv (s_{xij}, s_{yij}, s_{zij}) \equiv n_{ij} \times a_{ij} \quad (10)$$

$$s_{xij} \equiv v_{ij} z_{ij} - w_{ij} y_{ij}, \quad s_{yij} \equiv w_{ij} x_{ij} - u_{ij} z_{ij}, \quad s_{zij} \equiv u_{ij} y_{ij} - v_{ij} x_{ij}$$

式(2)、(3)を微分して整理すると、次式のように、 $n_{ij}$  ※式として近似できる。

( $u_{ij}$ ,  $v_{ij}$ ,  $w_{ij}$ ) の変化量 $\Delta n_{ij}$  ( $\Delta u_{ij}$ ,  $\Delta$  【0106】

$v_{ij}$ ,  $\Delta w_{ij}$ ) を、新たに導入した未知変数 $\rho_{ij}$ の1次 ※50 【数10】

$$\begin{aligned}\Delta u_{ij} &= \rho_{ij} s_{xij} - x_{ij} \left[ u_{ij} (\xi_j - \xi_i) + v_{ij} (\eta_j - \eta_i) + w_{ij} (\zeta_j - \zeta_i) \right] / l_{ij} \\ \Delta v_{ij} &= \rho_{ij} s_{yij} - y_{ij} \left[ u_{ij} (\xi_j - \xi_i) + v_{ij} (\eta_j - \eta_i) + w_{ij} (\zeta_j - \zeta_i) \right] / l_{ij} \\ \Delta w_{ij} &= \rho_{ij} s_{zij} - z_{ij} \left[ u_{ij} (\xi_j - \xi_i) + v_{ij} (\eta_j - \eta_i) + w_{ij} (\zeta_j - \zeta_i) \right] / l_{ij}\end{aligned}\quad (11)$$

$n_{ij}$ が、次のイベントサイクルでとる値を $n'_{ij}$ とする。 $n'_{ij}$ は、本来アーク $A_{ij}$ に垂直で大きさ1となるべきであるが、変化量の2乗のオーダーで誤差を生じてしまう。そこで、次式のように、まず方向を修正し、更に大きさを1に修正したものを $n'_{ij}$ とする。ただし、\*

\*  $a'_{ij}$ は、 $a_{ij}$ が次のイベントサイクルでとる値である。

【0107】

10 【数11】

$$\begin{aligned}\tilde{n}_{ij} &= a'_{ij} \times \left[ (n_{ij} + \Delta n_{ij}) \times a'_{ij} \right] \\ n'_{ij} &= \tilde{n}_{ij} / |\tilde{n}_{ij}|\end{aligned}\quad (12)$$

#### 4.2.3 ラグランジュの乗数法の適用

式(6)は、式の数を変数の数より少なく、また変数 $\rho$ を含まないで、これだけではスケルトンモデルの変形を一意的に定めることはできない。そこで、 $\rho$ を含む評価式を用意し、この式を極小化するという条件のもとで、※20

※ラグランジュの乗数法を適用して解を求める。評価式は、式 $U_1, U_2, U_3, \dots$ の総和 $U_e$ として構成する。未定乗数 $\alpha_{ij}$ を導入し、次式のように $U$ を定義する。

【0108】

【数12】

$$U \equiv \sum_{\text{arc } ij} \alpha_{ij} F_{ij} + U_e \equiv \sum_{\text{arc } ij} \alpha_{ij} F_{ij} + \sum_k U_k \quad (13)$$

式(6)と次式(14)を連立させて、これを解くことにより、解 $\xi, \eta, \zeta, \rho$ を得る。

★【0109】

★ 【数13】

$$\frac{\partial U}{\partial \xi_i} = 0, \quad \frac{\partial U}{\partial \eta_i} = 0, \quad \frac{\partial U}{\partial \zeta_i} = 0, \quad \frac{\partial U}{\partial \rho_{ij}} = 0 \quad (14)$$

得られた解に基づき、次式により $x, y, z$ の新しい値

☆【0110】

$x', y', z'$ を求め、ノードの座標が決まる。 ☆30 【数14】

$$x' = x + \xi, \quad y' = y + \eta, \quad z' = z + \zeta \quad (15)$$

そして式(11), (12)により $n(u, v, w)$ の新しい値 $n'(u', v', w')$ を求め、アーク法線ベクトルが決まる。

#### 【0111】4.3 アークの方向固定

##### 4.3.1 アークの方向固定の意味

アークの方向を固定した場合、そのアークは次のような拘束を受けるものとする。

【0112】即ち、両端のノードが固定されていない場合には、平行移動のみが可能になる（アーク法線ベクトルの向きも変化できない）。一方、両端のノードのうち少なくとも一方が固定されている場合には、移動も回転もできない（完全固定状態）。

##### 【0113】4.3.2 Trans group

隣接する複数のアークが方向固定されており、これらのアークが移動する場合には、これらのアークは一体となって平行移動することになる。このような1本以上のアーク（あるいは2個以上のノード）のグループをtrans groupと呼ぶことにする。

◆【0114】trans groupの中のノードの1つを代表ノードとすると、trans groupの中の代表ノード以外のノードの移動量は、代表ノードの移動量と等しくなる。

【0115】方向固定されたアークについては、式(1), (6)は不要となり、変数 $\rho$ も消え去る。trans groupの中の代表ノード以外のノードについては、式(14)から変数 $\xi, \eta, \zeta$ が消え去る。このように変数の数が減ることによって、計算負荷を軽くすることができる。

##### 【0116】4.4 評価式の作成

前述のように、ラグランジュの乗数法を適用するには、極小化すべき評価式を用意する必要がある。評価式としては、図14(B)で説明したように、アーク間角度の変化量、ノード座標の変化量、ノード座標の速度変化量等を含む種々の評価式を考えることができる。これらの評価式の詳細については特開平10-208072に開示されている。

##### 【0117】4.4.1 ラバーバンドの設定

◆50 ラバーバンドは、収縮しようとする性質を持った仮想的

25

なアークである。ここで、ラバーバンドの一端を  $(x_i, y_i, z_i)$  とし、他端を  $(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$  とする。特開平10-208072に開示されるように、このラバーバンドを用いて、ユーザーは、スケルトンモデルを所望の形状に変形できる。この場合に、ラバーバンドの一端  $(x_i, y_i, z_i)$  は、ユーザーがマウス等でピックアップしたノード  $N_i$  になり、他端  $(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$  は、ユーザーのマウスの動きに合わせて移動する。  
【0118】また、このラバーバンドは、前述のようにノードpullerにも利用できる。この場合には、一端  $(x * 10$

$$U_2 = \sum_{\text{node } i}^{N_{\text{pick}}} U_{2i} \quad (16)$$

$$U_{2i} = W_r \left[ (x_i - x_{ci} + \xi_i)^2 + (y_i - y_{ci} + \eta_i)^2 + (z_i - z_{ci} + \zeta_i)^2 \right] / \lambda^2 \quad (17)$$

$U_{2i}$ の偏微分は以下になる。

【0121】

※【数16】

※

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_{2i}}{\partial \xi_i} &= \frac{2W_r}{\lambda^2} (\xi_i + x_i - x_{ci}) \\ \frac{\partial U_{2i}}{\partial \eta_i} &= \frac{2W_r}{\lambda^2} (\eta_i + y_i - y_{ci}) \\ \frac{\partial U_{2i}}{\partial \zeta_i} &= \frac{2W_r}{\lambda^2} (\zeta_i + z_i - z_{ci}) \end{aligned} \quad (18)$$

4.4.2 ラバーバンドのウェイト値の適応可変  
ラバーバンドの張力が強くなると暴れが発生する傾向がある。そこで、ラバーバンドのウェイト値  $W_r$  を、スケルトンモデルの状態に応じて可変にする。この際、単にウェイト値に上限を設けるだけでは不十分であり、次の場合を考慮する必要がある。

【0122】第1に、複数のノードをピックアップし、同一方向に引っ張った場合には、個々のラバーバンドの張力は小さくても、全ラバーバンドの張力の総和は大きくなってしまふ(図10(A)参照)。

【0123】第2に、複数のノードを異なる方向に引っ張った場合には、単純にラバーバンドの張力に上限を設けたのでは、次のような不具合が生じる。即ち、ラバーバンドが伸びた状態でスケルトンモデルの形状が収束し

★た場合に、釣り合い状態が一意的に定まらない場合が生じる。例えば図16(A)のように、1本のアークを左右に引っ張ったとする。ここで、ラバーバンド120、122のリミット長を  $l_r^*$  とすると、図16(B)、(C)、(D)は全て釣り合い状態となる。図16(B)、(C)、(D)では、ラバーバンド120、122の長さは全て  $l_r^*$  以上になっており、ラバーバンド120、122の張力が全て等しく上限値になっているからである。

【0124】そこでラバーバンドのウェイト値  $W_r$  を、次式に示すように、ラバーバンドの長さ  $l_{ri}$  の総和の逆数に比例した値にする。

【0125】

【数17】

$$W_r = W_{r0} \lambda / \sum_{\text{node } i}^{N_{\text{pick}}} l_{ri} \quad (19)$$

$$l_{ri} \equiv \sqrt{(x_i - x_{ci})^2 + (y_i - y_{ci})^2 + (z_i - z_{ci})^2} \quad (20)$$

但し、ラバーバンド長の総和が小さいときに、ウェイト値  $W_r$  が大きくなりすぎないように、 $W_r$  には上限値  $W_r^*$  を設定しておく。

【0126】 $W_r$  を式(19)のように可変制御すること

☆で、複数のノードと複数の制御点との間に働くラバーバンドの張力の総和が所与の値以下になるような条件の下で、スケルトンモデルの形状を変形できるようになる。

☆50

また、各ラバーバンドの張力には固有の上限値が設けら

れていなく、式(17)のように、ラバーバンドの張力は、バスカーブが指定されたノード $N_i(x_i, y_i, z_i)$ と、制御点 $(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$ との距離に応じて変化する。従って、図16(B)、(C)、(D)のような釣り合い状態が一意的に定まらないという事態を回避できるようにする。

【0127】4.4.3 ノードpuller

ノードpullerは、4.4.1、4.4.2節で説明したラバーバンドを利用して実現する。ノードpullerを作用させて収束計算を行うことで、ノードpullerによるスケルトン\*10

$$U_A = \sum_{arc\ i\ j} U_{Aij} \quad (21)$$

$$U_{Aij} = W_A (\theta_{pij} + \phi_{pij})^2 \quad (22)$$

ここで $W_A$ は、AV pullerの強さを表すウェイト値(重み係数)である。図17に示すように、アーク $A_{ij}$ のアーク方向ベクトル $a_{ij}$ と中割りアーク方向ベクトル $a_{pij}$ とのなす角を $\theta_{pij}$ とする。また、 $\theta_{pij}$ の変化量を次式※

$$\phi_{pij} \equiv \Delta\theta_{pij} \quad (23)$$

$\phi_{pij}$ を、 $\xi$ 、 $\eta$ 、 $\zeta$ の1次近似式で表すことにする。まず、次式が成り立つ。

$$\cos\theta_{pij} = a_{ij} \cdot a_{pij} \quad (24)$$

$$\cos(\theta_{pij} + \phi_{pij}) = (a_{ij} + \Delta a_{ij}) \cdot a_{pij} \quad (25)$$

上式を、 $\phi_{pij}$ の2次以上の項を無視して変形すると、次式が得られる。

$$\phi_{pij} = -\frac{1}{\sin\theta_{pij}} \Delta a_{ij} \cdot a_{pij} \quad (26)$$

図17に示すように、 $a_{ij}$ と $a_{pij}$ が作る平面内で $a_{ij}$ に垂直な単位ベクトル $a_{qij}$ を作る。

$$\begin{aligned} a_{qij} &\equiv (x_{qij}, y_{qij}, z_{qij}) \\ &= [a_{pij} - (a_{ij} \cdot a_{pij})a_{ij}] / \sin\theta_{pij} \end{aligned} \quad (27)$$

式(26)を式(27)等を用いて変形し、 $\xi_i$ 、 $\xi_j$ 、 $\eta_i$ 、 $\eta_j$ 、 $\zeta_i$ 、 $\zeta_j$ 、 $\rho_{ij}$ による $U_{Aij}$ の偏微分を求めると、次式のようになる。

\*ンモデルの変形を実現できる。

【0128】4.4.4 AV puller

AV pullerを作用させた際に、各アークのアーク方向ベクトルと中割りアーク方向ベクトルとの向きの差の2乗和が極小になるよう、スケルトンモデルを変形させる。式(13)の評価式 $U_e$ に、次式 $U_A$ を加えて収束計算を行うことで、この変形を実現できる。

【0129】

【数18】

※のように $\phi_{pij}$ とする。

【0130】

【数19】

★【0131】

★【数20】

☆【0132】

☆【数21】

◆【0133】

◆【数22】

\*【0134】

40 【数23】

\*

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial U_{Aij}}{\partial \xi_i} &= -\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \xi_j} = -\frac{2W_A}{l_{ij}^2} x_{pij} [x_{pij}(\xi_j - \xi_i) + y_{pij}(\eta_j - \eta_i) + z_{pij}(\zeta_j - \zeta_i)] + \frac{2W_A}{l_{ij}} x_{pij} \theta_{pij} \\
 \frac{\partial U_{Aij}}{\partial \eta_i} &= -\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \eta_j} = -\frac{2W_A}{l_{ij}^2} y_{pij} [x_{pij}(\xi_j - \xi_i) + y_{pij}(\eta_j - \eta_i) + z_{pij}(\zeta_j - \zeta_i)] + \frac{2W_A}{l_{ij}} y_{pij} \theta_{pij} \\
 \frac{\partial U_{Aij}}{\partial \zeta_i} &= -\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \zeta_j} = -\frac{2W_A}{l_{ij}^2} z_{pij} [x_{pij}(\xi_j - \xi_i) + y_{pij}(\eta_j - \eta_i) + z_{pij}(\zeta_j - \zeta_i)] + \frac{2W_A}{l_{ij}} z_{pij} \theta_{pij}
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

$$\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \rho_{ij}} = 0
 \tag{29}$$

以上の方法では、 $\theta_{pij}=0$ の場合に、ベクトル $a_{pij}$ が不定となり計算不能となる。そこで、 $\theta_{pij}<1$ の場合は、次式を用いる。

$$U_{Aij} = W_A |a_{ij} + \Delta a_{ij} - a_{pij}|^2
 \tag{30}$$

式(30)を変形し、 $\xi_i, \xi_j, \eta_i, \eta_j, \zeta_i, \zeta_j, \rho_{ij}$  による $U_{Aij}$ の偏微分を求めると、下式のようになる。

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial U_{Aij}}{\partial \xi_i} &= -\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \xi_j} = \frac{2W_A}{l_{ij}^2} [(x_{ij}^2 - 1)(\xi_j - \xi_i) + x_{ij}y_{ij}(\eta_j - \eta_i) + z_{ij}x_{ij}(\zeta_j - \zeta_i)] \\
 &\quad + \frac{2W_A}{l_{ij}} [x_{pij} - (a_{ij} \cdot a_{pij})x_{ij}] \\
 \frac{\partial U_{Aij}}{\partial \eta_i} &= -\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \eta_j} = \frac{2W_A}{l_{ij}^2} [x_{ij}y_{ij}(\xi_j - \xi_i) + (y_{ij}^2 - 1)(\eta_j - \eta_i) + y_{ij}z_{ij}(\zeta_j - \zeta_i)] \\
 &\quad + \frac{2W_A}{l_{ij}} [y_{pij} - (a_{ij} \cdot a_{pij})y_{ij}] \\
 \frac{\partial U_{Aij}}{\partial \zeta_i} &= -\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \zeta_j} = \frac{2W_A}{l_{ij}^2} [z_{ij}x_{ij}(\xi_j - \xi_i) + y_{ij}z_{ij}(\eta_j - \eta_i) + (z_{ij}^2 - 1)(\zeta_j - \zeta_i)] \\
 &\quad + \frac{2W_A}{l_{ij}} [z_{pij} - (a_{ij} \cdot a_{pij})z_{ij}]
 \end{aligned}
 \tag{31}$$

$$\frac{\partial U_{Aij}}{\partial \rho_{ij}} = 0
 \tag{32}$$

#### 4.4.5 NV puller

NV pullerを作用させた際に、各アークのアーク法線ベクトルと中割りアーク法線ベクトルとの向きの差の2乗和が極小になるよう、スケルトンモデルを変形させる。

★式(13)の評価式 $U_e$ に次式 $U_N$ を加えることで、これを実現できる。

$$U_N = \sum_{arcij} U_{Nij}
 \tag{33}$$

$$U_{Nij} = W_N |n_{ij} + \Delta n_{ij} - n_{pij}|^2
 \tag{34}$$

$W_N$ は、NV pullerの強さを表すウェイト値(重み係数)である。また、アーク $Aij$ の法線ベクトル $n_{ij}$ ( $u_{ij}, v_{ij}, w_{ij}$ )に対する中割りアーク法線ベクトルを $n_{pij}$ ( $u_{pij}, v_{pij}, w_{pij}$ )とする。

☆【0138】 $\xi_i, \xi_j, \eta_i, \eta_j, \zeta_i, \zeta_j, \rho_{ij}$ による $U_{Nij}$ の偏微分を求めると、次式のようになる。

☆【0139】

☆50 【数27】

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial U_{Nij}}{\partial \xi_i} &= -\frac{\partial U_{Nij}}{\partial \xi_j} = -\frac{2W_N}{l_{ij}^2} u_{ij} [u_{ij}(\xi_j - \xi_i) + v_{ij}(\eta_j - \eta_i) + w_{ij}(\zeta_j - \zeta_i)] - \frac{2W_N}{l_{ij}} u_{ij} (n_{pij} \cdot a_{ij}) \\
 \frac{\partial U_{Nij}}{\partial \eta_i} &= -\frac{\partial U_{Nij}}{\partial \eta_j} = -\frac{2W_N}{l_{ij}^2} v_{ij} [u_{ij}(\xi_j - \xi_i) + v_{ij}(\eta_j - \eta_i) + w_{ij}(\zeta_j - \zeta_i)] - \frac{2W_N}{l_{ij}} v_{ij} (n_{pij} \cdot a_{ij}) \\
 \frac{\partial U_{Nij}}{\partial \zeta_i} &= -\frac{\partial U_{Nij}}{\partial \zeta_j} = -\frac{2W_N}{l_{ij}^2} w_{ij} [u_{ij}(\xi_j - \xi_i) + v_{ij}(\eta_j - \eta_i) + w_{ij}(\zeta_j - \zeta_i)] - \frac{2W_N}{l_{ij}} w_{ij} (n_{pij} \cdot a_{ij})
 \end{aligned}
 \tag{35}$$

$$\frac{\partial U_{Nij}}{\partial \rho_{ij}} = 2W_N (\rho_{ij} - n_{pij} \cdot s_{ij})
 \tag{36}$$

##### 5. 画像生成装置、情報記憶媒体

図18(A)、(B)、(C)に、本実施形態のスケルトンモデルの中間フレーム形状導出方法、形状変形方法を利用した画像生成装置、情報記憶媒体の種々の実施形態を示す。

【0140】図18(A)は、画像生成装置の1つである形状データ作成ツールに本実施形態を適用した例である。スケルトンモデルのキーフレームの形状の作成のための指示、パスカーブの指定等は、例えばキーボード200、ポインティングデバイスであるマウス202を用いて行われる。処理部210は、本実施形態の方法によりスケルトンモデルの形状変形を行い形状データを生成する形状データ生成部212と、この形状データ生成部212で生成された形状データに基づいてスケルトンモデルの画像を合成する画像生成部214とを含む。処理部210は、ハードウェア的には、CPU、DSP、メモリ、必要であれば画像生成用のASIC等により構成される。FD、CD、DVD、ICカード、メモリ等で構成される情報記憶媒体216には、本実施形態の方法を実現する形状データ作成プログラム、このプログラムの実行のために必要なデータ等の種々の情報が格納されている。処理部210は、キーボード200、マウス202からの入力情報、情報記憶媒体216に格納される情報に基づいて処理を行い、これにより表示部218上にスケルトンモデル画像219等が表示される。この形状データ作成ツールによれば、表示されるスケルトンモデル画像219の形状を確認しながら、形状データの作成を行うことができ、設計作業の効率化を図れる。

【0141】図18(B)は、画像生成装置の1つであるゲーム装置に本実施形態を適用した例である。ゲームコントローラ220、222は、プレーヤが操作情報を入力するためのものである。処理部230は、プレーヤからの操作情報に基づいてゲーム画像を合成するための演算等を行うゲーム演算部232と、このゲーム演算部232からの演算結果に基づいて画像生成を行う画像生成部234とを含み、ハードウェア的には、CPU、DSP、メモリ、必要であれば画像生成用のASIC等に

\*より構成される。情報記憶媒体236には、本実施形態の方法により作成された形状データ或いはこの形状データに基づき生成された種々の情報、及びゲームプログラム等が格納されている。表示部238上には、上記形状データ等に基づいて動作するゲームキャラクタの画像239、240等が表示される。ゲーム装置が業務用のものであれば、形状データ、ゲームプログラムは、半導体メモリ、ハードディスク等から成る情報記憶媒体に格納され、ゲーム装置が家庭用のものであれば、形状データ、ゲームプログラムは、CD、DVD、ゲームカセット等から成る情報記憶媒体に格納される。また複数の端末をホスト装置を介して通信回線で接続し、ゲームプログラム等を配給するタイプのゲーム装置においては、形状データ、ゲームプログラムはホスト装置の情報記憶媒体、例えば磁気ディスク、CD、DVD、半導体メモリ等に格納される。

【0142】一方、図18(C)は、ゲーム演算部242が形状データ生成部243を含む場合のゲーム装置の例である。この場合、情報記憶媒体246には、形状データの代わりに、本実施形態の方法を実現する形状データ生成プログラムが格納され、形状データの生成はゲーム装置に内蔵される形状データ生成部243がリアルタイムに行う。例えばゲームコントローラ220、222等によりプレーヤが、スケルトンモデルに所望の動作を行わせる。これによりスケルトンモデルに付随して動くオブジェクトの画像239、240が表示部238に表示されることになる。

【0143】なお本発明は上記実施形態で説明したものに限らず、種々の変形実施が可能である。

【0144】例えば本実施形態では、ノードpullerによる変形の後にAV pullerによる変形を行う場合について説明したが、本発明では、AV pullerによる変形の後にノードpullerによる変形を行うようにしてもよい。例えば、指定ノードがパスカーブ上を通ることよりも、アークが指定方向に向くことを優先する場合には、AV pullerによる変形の後にノードpullerによる変形を行うことが望ましい。この場合には、4.3節で説明したアーク

の方向固定の手法により、アークの向く方向を固定することになる。

【0145】また、ノードpuller、AV puller、NV pullerによる変形は、図13(A)～図13(D)で説明した手法(基本式や評価式を所与の情報に基づき変化させながら基本変数の解を求める手法)により実現することが特に望ましい。しかしながら、本発明はこれに限定されず、これらの変形を、別の手法により実現するようにしてもよい。

【0146】また、2.4節で説明したラバーバンドの張力の適応可変の手法は、ノードpullerにおけるラバーバンドのみならず、スケルトンモデルの変形に使用する種々のラバーバンドに対して広く適用できる。例えば特開平10-208072に開示されるような、ユーザのマウス操作によるスケルトンモデルの変形の際に使用するラバーバンドに対しても、ラバーバンドの張力の適応可変の手法は適用できる。

【0147】また、第1の変形ステップの反復計算での初期段階において、第2の変形ステップの第2の条件が加味された演算を行う手法の適用例は、ノードpullerによる変形の初期段階にAV pullerを作用させる適用例(図12参照)に限定されるものではない。例えば、AV pullerによる変形の初期段階にノードpullerを作用させる適用例など、種々の適用例を考えることができる。

【0148】

【図面の簡単な説明】

【図1】図1(A)、(B)、(C)は、キャラクタのモーション作成の手順について説明するための図である。

【図2】図2(A)、(B)は、パスカーブ指定や中間フレームの形状導出について説明するための図である。

【図3】図3(A)、(B)は、本実施形態の比較例について説明するための図である。

【図4】本実施形態の処理について説明するためのPADである。

【図5】中割りアーク方向ベクトルの導出について説明するための図である。

【図6】ノードpullerによる変形について説明するための図である。

【図7】AV pullerによる変形について説明するための図である。

【図8】図8(A)、(B)は、中割りアーク法線ベクトルの導出について説明するための図である。

【図9】図9(A)、(B)は、ノードpullerとしてラバーバンドを用いる手法について説明するための図である。

【図10】図10(A)、(B)、(C)、(D)は、ラバーバンドの張力の適応可変について説明するための

図である。

【図11】図11(A)、(B)、(C)は、ノードpullerを作用させて行う反復計算の初期段階において、AV pullerを作用させる手法について説明するための図である。

【図12】ノードpullerを作用させて行う反復計算の初期段階において、AV pullerを作用させる手法について説明するためのPADである。

【図13】図13(A)、(B)、(C)、(D)は、基本式や評価式を所与の情報に基づき変化させながら基本変数の解を求める手法について説明するための図である。

【図14】図14(A)は、アーク法線ベクトルの変化量を1変数で表す手法について説明するための図であり、図14(B)は、評価式の種々の例を示す図である。

【図15】アーク、ノード、アーク法線ベクトル等の関係について説明するための図である。

【図16】図16(A)、(B)、(C)、(D)は、ラバーバンドの張力の適応可変について説明するための図である。

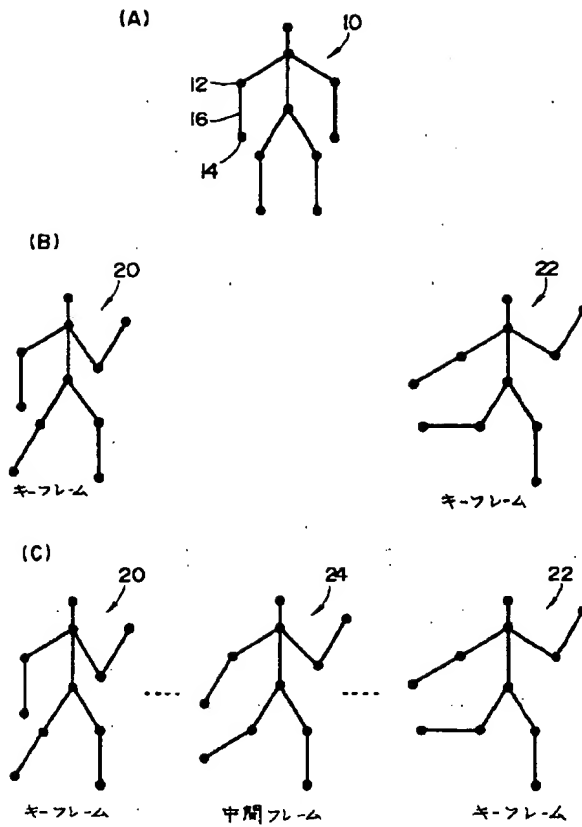
【図17】アーク方向ベクトル、中割りアーク方向ベクトル等の関係について説明するための図である。

【図18】図18(A)、(B)、(C)は、画像生成装置、情報記憶媒体の種々の実施形態について示す図である。

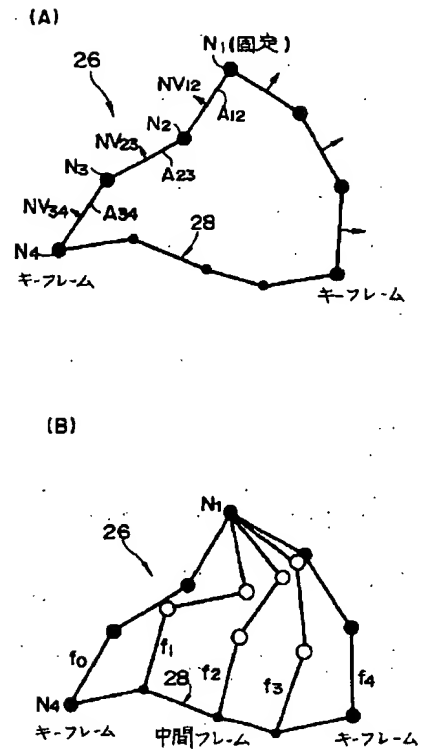
【符号の説明】

- 10 スケルトンモデル
- 12 関節点(ノード)
- 14 端点(ノード)
- 16 骨(アーク)
- 20、22 キーフレームの形状
- 24 中間フレームの形状
- 26 スケルトンモデル
- 28 パスカーブ
- 40、42 アーク方向ベクトル
- 44 パスカーブ上の位置
- 46、48、50 中割りアーク方向ベクトル
- 52 ノードpuller、AV pullerによる変形後のアーク法線ベクトル
- 54 キーフレーム登録時のアーク法線ベクトル
- 56 アーク法線ベクトル
- 58 中割りアーク法線ベクトル
- 60 制御点(パスカーブ上の位置)
- 62 ラバーバンド
- 64 パスカーブ
- 66 制御点(パスカーブ上の位置)
- 68 ラバーバンド

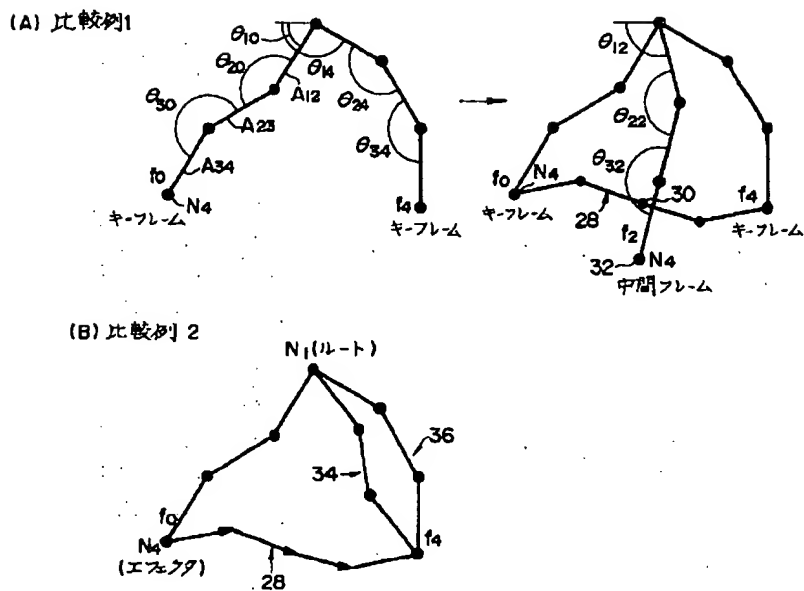
【図1】



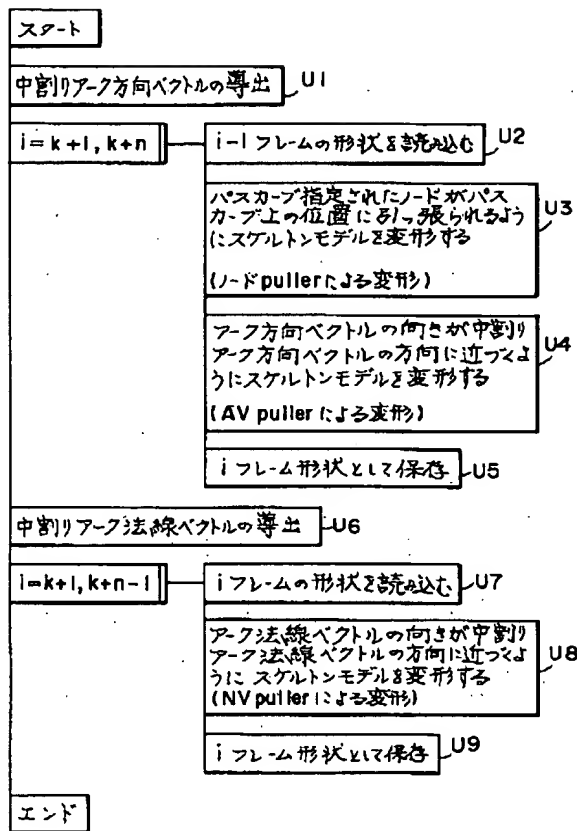
【図2】



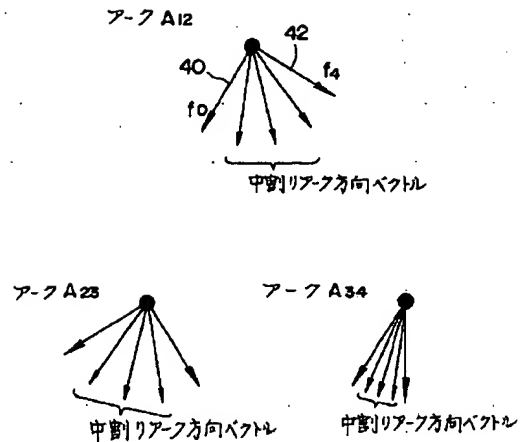
【図3】



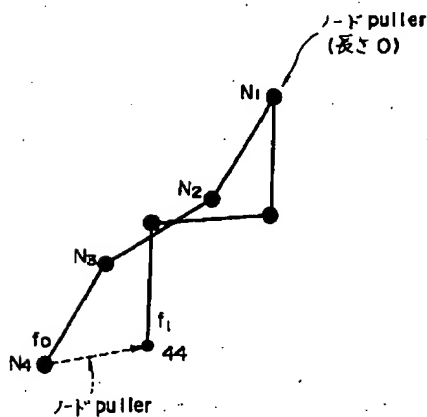
【図4】



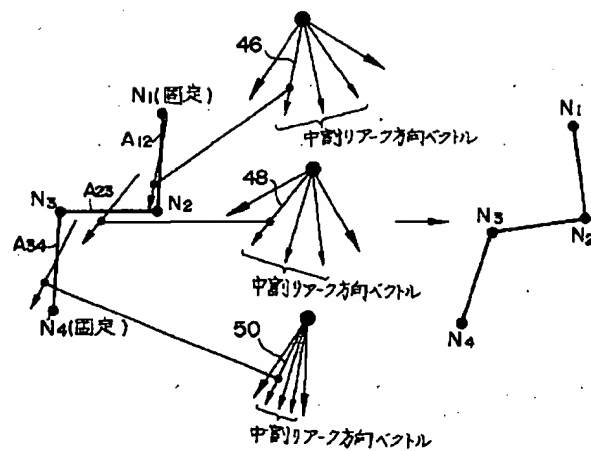
【図5】



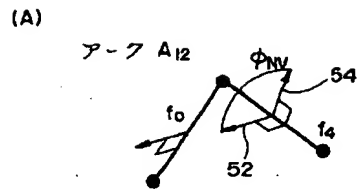
【図6】



【図7】

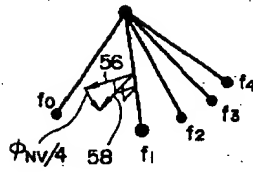


【図8】

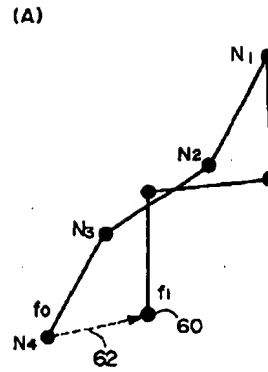


(B)

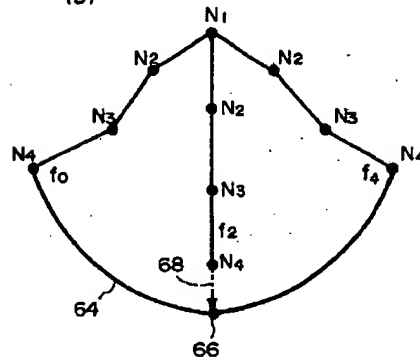
アーク A12



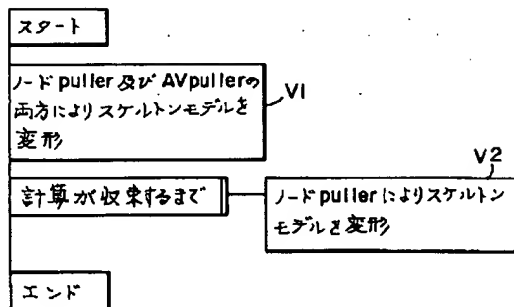
【図9】



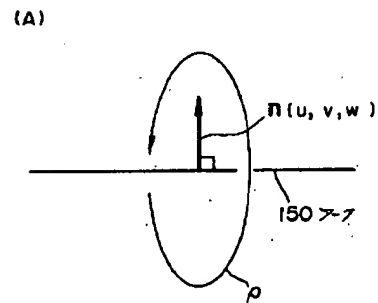
(B)



【図12】



【図14】



(B)

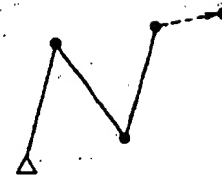
評価式

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \dots$$

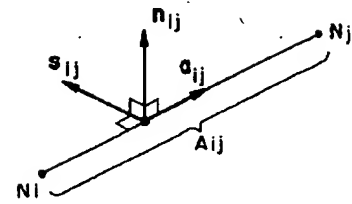
$U_1$ : アーク間角度変化量2乗和

$U_2$ : ラバーバンド

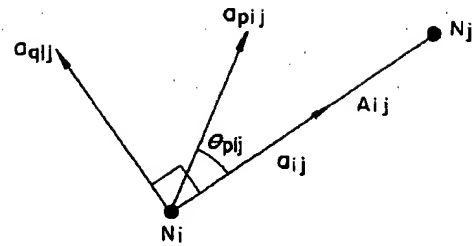
$U_3$ : ダンパー, イナージヤ



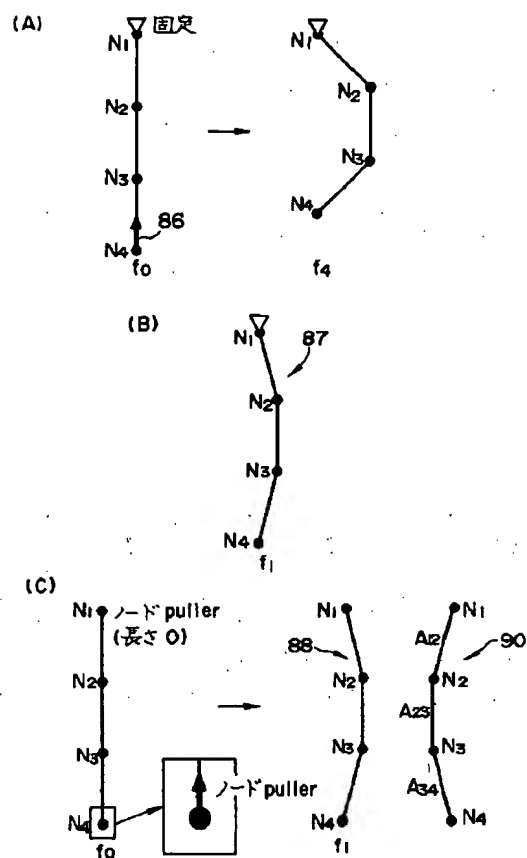
【図15】



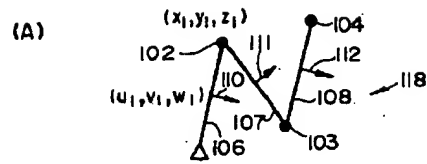
【図17】



【図11】



【図13】



(B)

基本変数

 $x, y, z, \dots, u, v, w, \dots$ 

基本式

 $f(x, y, z, \dots) = 0$  (フクの長さ規定) $g(u, v, w) = 0$  (フク3次元ベクトルの長さ規定) $h(x, y, z, \dots, u, v, w) = 0$  (フク3次元ベクトルが  
フクに垂直)

x フク本数

(C)

解くべき式

$$\begin{pmatrix} A \\ m \times n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta y_1 \\ \Delta z_1 \\ \vdots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b \end{pmatrix}, (n > m)$$

評価式

 $U(\Delta x_1, \Delta y_1, \Delta z_1, \dots)$ 

(D)

Lagrange の乗数法

$$\begin{pmatrix} A_1 \\ (m+n) \times (m+n) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta y_1 \\ \Delta z_1 \\ \vdots \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \end{pmatrix}$$

【図18】

